



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

## **SINTESIS NANOKOMPOSIT PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> SEBAGAI PENYERAP MAGNETIK PADA GELOMBANG MIKRO**

Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana sains  
dari Universitas Andalas

### **SKRIPSI**



**ERIKA LINDA YANI NASUTION  
0810442030**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2012**

## SKRIPSI

### SINTESIS NANOKOMPOSIT $\text{PAni/Fe}_3\text{O}_4$ SEBAGAI PENYERAP MAGNETIK PADA GELOMBANG MIKRO

disusun oleh:

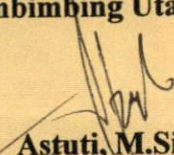
**Erika Linda Yani Nasution**  
**0810442030**

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji**

**Pada tanggal 07 Agustus 2012**

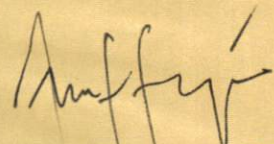
**Tim Penguji**

**Pembimbing Utama,**



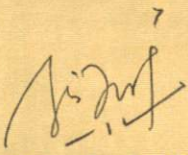
**Astuti, M.Si**  
**NIP. 198108142005012002**

**Penguji I**




**Afdhal Muttaqin, M.Si**  
**NIP. 197704292005011002**

**Penguji II**



**Sri Handani, M.Si**  
**NIP. 196907141995122001**

**Penguji III**



**Drs. Wildian, M.Si**  
**NIP. 196108121994031001**



## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Allah akan meninggikan  
Orang-orang yang beriman diantara kamu  
Dan orang-orang yang berilmu pengetahuan beberapa derajat  
(QS: Al Mujaadilah: 11)

Sungguh, Allah tidak akan mengubah (nasib)  
Suatu kaum, jika mereka tidak mengubah  
Keadaannya sendiri  
(QS: Ar Ra'ad 13:11)

Alhamdulillah  
Puji syukur hanya kepada-Mu, Allah SWT  
Karena kasih sayang-Mu tak pernah terputus untukku  
Karena anugerah-Mu tak pernah berhenti, selalu datang kepadaku

Ketika aku lelah akan semua yang ku lakukan  
Ketika aku terjatuh dan sulit untuk bangkit  
Ketika aku berpikir bahwa hal "itu" tak mungkin terjadi  
Namun, aku masih tetap percaya bahwa Engkau mampu mengubahnya

Karya ini ku persembahkan untuk Ibu dan Ayah tercinta  
Yang merawat ku dengan cinta dan melumuri setiap langkah ku dengan do'a  
Yang menyayangi ku tanpa syarat  
Yang menjadi alasan utama ku untuk tetap kuat  
Aku hanya ingin slalu memberikan yang terbaik dan kebahagiaan untuk kalian  
Terima kasih untuk semuanya.

Abangku Ahmad Rizky Nasution, S.Sos selaku yang paling tua dan  
sebagai contoh buat adek2nya terima kasih atas do'a dan motivasi  
yang diberikan.

Adekku yang paling cantik Lisna Khairani Nasution calon Amd.Keb  
dan adekku yang paling ganteng Alfin Sanjani Nasution calon S.P  
terima kasih atas dukungannya, semoga Allah memberikan yang  
terbaik buat kalian ya adekku.



Hani Maria Ulfah Nasution, adekku yang paling imut n Manies,  
semoga adek menjadi anak yang sholeha dan slalu membahagiakan  
kedua orang tua.

Buat semua anggota keluarga Ky....  
Terima kasih untuk do'a, kasih sayang dan dukungannya

Untuk Aa' Timbul Rasohi yang sebentar lagi calon S.P, ternyata  
target kita tidak tercapai. Nama nggi dulu bertambah ya.  
Mudah-mudahan Sarjana Pertanian (S.P) tercapai November  
2012 ya Aa'. Amin. Terima kasih atas segala waktu, motivasi,  
kesabaran, perhatian, dan kasih sayangnya. Teruslah berjuang  
untuk menggapai cita-cita. Karena setiap usaha yang  
maksimal akan memperoleh hasil yang memuaskan. Dan ingat  
Aa' "Takkan ada hasil tanpa usaha dan do'a" dan Suatu saat  
nant "Semua akan indah pada waktu nya".

Terima kasih gang sebesar-besarnya kepada seluruh Dosen Fisika FMIPA-  
UNTHP, khususnya kepada Ibu Istuti, M.Si yang telah meluangkan waktu,  
pikiran dan perhatiannya untuk memberikan bimbingan, motivasi dan  
masuk dalam pengelakan skripsi ini, semoga Allah SWT membalas  
semua kebaikan Ibu. Dan semoga Allah mengabdikan semua keinginan,  
cita2 dan do'a Ibu. Amin

Buat semua teman2 Laila hendri, hilda, warni (Shii Wamy), eko, suci, fi2,  
firman, dinda, ega, sasa, tri, anggi (makasi yaa), dila, adel, adela, acfi (teman 1  
tim yang selalu setia n makasih ya atas kerja samanya), elsa, ola, miz, ajo,  
igbal, ade, andes, roma, cia, laila, meri, sonata, merry, icha, yuni, anya,  
via, adi, dan rubin. Terima kasih banyak atas kerja sama, dukungan dan  
do'anya. Semoga Allah memberikan yang terbaik buat kalian. Amin

Buat Warga kos ibu Nani Nan Lamo

Khususnya buat teman sekamar ku via n k'ta (sekarang kalian bebas  
matin lampu...hehe) terima kasih atas pengertian, perhatian n  
motivasi. Semoga kalian cepet menyusul ya. Amin. Untuk Dian,  
akhirnya target kita tercapai, semoga ilmu kita dapat dimanfaatkan  
sebaik-baiknya. Amin. Untuk Dek juju, jangan terlalu santai, hidup ini  
penuh perjuangan. So... semangat lah dek.



# SINTESIS NANOKOMPOSIT PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> SEBAGAI PENYERAP MAGNETIK PADA GELOMBANG MIKRO

## ABSTRAK

Nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> telah diteliti sebagai material penyerap gelombang mikro. Dalam hal ini, PAni berperan sebagai matriks, sedangkan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berperan sebagai *filler*. PAni disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi oksidasi secara kimia, sedangkan nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> disintesis dengan cara menyisipkan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan pencampuran secara mekanik kedalam matriks PAni. Komposisi penambahan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada PAni yaitu 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, dan 0,5 g. Karakterisasi nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diuji dengan menggunakan LCR Meter, *Magnetic Suseptibility Meter*, dan *Vector Network Analyzer* (VNA). Berdasarkan hasil pengujian *Magnetic Suseptibility Meter* didapatkan nilai suseptibilitas magnet PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> semakin tinggi dengan meningkatnya komposisi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Hasil pengujian VNA menunjukkan nilai *Reflection Loss* maksimum terjadi pada sampel B sebesar -53,7 dB pada frekuensi 8,74 GHz dengan nilai koefisien absorpsi sebesar 98,9% sedangkan nilai konduktivitas dan suseptibilitasnya adalah  $0,99 \times 10^{-3}$  S/cm dan  $19,2 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg.

Kata kunci: nanokomposit, polianilin (PAni), nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, konduktivitas, suseptibilitas, penyerap gelombang mikro, *reflection Loss*, koefisien absorpsi



## **SYNTHESIS OF PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NANOCOMPOSITE AS THE MAGNETIC ABSORBER IN MICROWAVE**

### **ABSTRACT**

PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite has been research as a microwave absorber material. In this case, PAni has a role as a matrix, while Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle as a filler. PAni synthesized by using chemical oxidation polymerization method, while the nanocomposite PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> synthesized by inserting Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle by mechanically mixing into the matrix PAni. Composition of the addition of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle in PAni are 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4, 0.5 g. Characterization of nanocomposite PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> by using LCR Meter, Magnetic Susceptibility Meter, and Vector Network Analyzer (VNA). Magnetic susceptibility meter test results that PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> value of magnetic susceptibility higher with increasing composition Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. The test result of VNA demonstrated the value of Reflection Loss maximum at B samples is equal to -53,7 dB at a frequency of 8.74 GHz with value of absorption coefficient is 98,9% while the value of the conductivity and susceptibility are  $0.99 \times 10^{-3}$  S/cm dan  $19.2 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg.

Keyword: nanocomposite, polyaniline (PAni), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, conductivity, susceptibility, microwave absorber, Reflection Loss, absorption coefficient



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga tercurah bagi junjungan dan suri tauladan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan kita kepada Nur Illahi.

Selesainya penulisan ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Astuti, M.Si selaku pembimbing utama yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, semangat, motivasi dan masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Afdhal Muttaqin, M.Si, Bapak Drs. Wildian, M.Si, dan Ibu Sri Handani, M.Si sebagai penguji yang telah memberikan kritikan, petunjuk, serta saran selama penulisan skripsi.
3. Ketua Jurusan Fisika Bapak Arif Budiman, M.Si dan seluruh staf pengajar yang telah berbagi ilmu, pemahaman dan pengalamannya, serta seluruh pegawai akademik di lingkungan Jurusan Fisika atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Dahyunir Dahlan sebagai Kepala Lab. Material yang telah memfasilitasi penulis selama penelitian.
5. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
6. Timbul Rasoki terima kasih atas bantuan, dukungan, pengertian, motivasi, dan semangat yang telah diberikan.



7. Teman-teman di Jurusan Fisika, teman-teman angkatan 2008 "*Lafiola*" , terima kasih atas dorongan, semangat dan kerjasamanya.
8. Semua pihak yang membantu penulisan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Padang, Agustus 2012

Erika Linda Yani Nasution



## DAFTAR ISI

	halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Polimer Konduktif .....	5
2.2 Polianilin (PAni) .....	6
2.3 Material Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	8
2.3 Sifat Listrik .....	10
2.5 Penyerap Gelombang Mikro ( <i>Microwave</i> ) .....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	16
3.2 Alat dan Bahan .....	16
3.2.1 Alat .....	16
3.2.2 Bahan .....	17
3.3 Teknik Penelitian .....	18
3.3.1 Pembuatan Serbuk PAni .....	18
3.3.2 Penambahan Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ pada Polianilin (PAni) .....	18
3.4 Karakterisasi .....	19

3.4.1 LCR Meter .....	19
3.4.2 <i>Magnetic Susceptibility Meter</i> .....	20
3.4.3 <i>Vektor Network Analyser</i> .....	23
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Sifat Listrik .....	25
4.1.1 Penentuan Nilai Konduktivitas PAni dan PAni/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	25
4.2 Analisis Sifat Magnet .....	29
4.3 Analisis Data <i>Vektor Network Analyzer</i> .....	31
4.3.1 Penentuan Nilai <i>Reflection Loss</i> (RL) .....	31
4.3.2 Penentuan Nilai koefisien Absorpsi .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR KEPUSTAKAAN</b> .....	43
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....	46



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Struktur aniline .....	6
Gambar 2.2 Reaksi Protonasi-deprotonasi dari Polianilin .....	7
Gambar 2.3 Struktur Kristal ferrit .....	9
Gambar 2.4 Spektrum Konduktivitas listrik dan resistivitas .....	11
Gambar 2.5 Spektrum Gelombang elektromagnetik .....	12
Gambar 2.6 Gelombang elektromagnetik yang mengenai material .....	12
Gambar 2.7 Jalan Gelombang elektromagnetik pada material anti RADAR .	13
Gambar 3.1 LCR Meter TH2820 .....	19
Gambar 3.2 <i>Magnetic Susceptibility Meter</i> .....	21
Gambar 3.3 <i>Vector Network Analyser</i> .....	23
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian .....	24
Gambar 4.1 Grafik hubungan nilai konduktivitas PA <sub>ni</sub> terhadap penambahan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	27
Gambar 4.2 Grafik nilai suseptibilitas magnet .....	29
Gambar 4.3 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai <i>Reflection Loss</i> pada sampel A .....	32
Gambar 4.4 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai <i>Reflection Loss</i> pada sampel B .....	32
Gambar 4.5 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai <i>Reflection Loss</i> pada sampel C .....	33
Gambar 4.6 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai <i>Reflection Loss</i> pada sampel D .....	33
Gambar 4.7 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai <i>Reflection Loss</i> pada sampel E .....	34
Gambar 4.8 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel A .....	36

Gambar 4.9 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel B .....	36
Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel C .....	37
Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel D .....	37
Gambar 4.12 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel E .....	38



## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 3.1 Komposisi PAni dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ pada masing-masing sampel .....	19
Tabel 4.1 Data nilai konduktivitas PAni dan PAni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	25
Tabel 4.2 Hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnet .....	29

## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Hasil karakterisasi suseptibilitas magnet .....	47
Lampiran 2. Tabel nilai $S_{11}$ dan nilai $S_{12}$ .....	49
Lampiran 3. Tabel nilai <i>Reflection Loss</i> (RL) .....	55
Lampiran 4. Tabel nilai koefisien absorpsi .....	58
Lampiran 5. Perbandingan nilai <i>Reflection Loss</i> (RL) .....	61
Lampiran 6. Perbandingan nilai koefisien absorpsi .....	62
Lampiran 7. Jadwal Penelitian .....	63



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teknologi penyerapan gelombang elektromagnetik merupakan salah satu teknologi yang perlu dikembangkan untuk mengontrol masalah yang ditimbulkan oleh *elektromagnetik interference* (EMI). Teknologi ini telah melahirkan sebuah material baru yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM). Salah satu aplikasi material ini yaitu pada bidang militer. Material ini bersifat meredam pantulan atau menyerap gelombang mikro, sehingga benda yang dilapisi dengan RAM tidak terdeteksi oleh *Radio Detection and Ranging* (RADAR). RAM telah dibuat dalam berbagai bentuk modifikasi material seperti material nanokomposit. Material nanokomposit merupakan material yang terdiri dari dua komponen yaitu matriks dan material pengisi (*filler*) yang berukuran kurang dari 100 nm.

Material penyerap gelombang mikro dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu penyerap magnetik dan penyerap dielektrik. Penyerap magnetik (*magnetic absorber*) tergantung pada efek histeresis magnetik, yang dapat diperoleh jika matrik polimer diisi dengan partikel seperti ferrit. Sampai saat ini material komposit yang terdiri dari besi masih menjadi pilihan material yang sangat baik digunakan sebagai material penyerap magnetik pada gelombang mikro. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, akan dilakukan pemanfaatan mineral besi tersebut sebagai material *filler* pada material komposit penyerap gelombang mikro.

Batuan besi tersebut akan disintesis menjadi nanopartikel magnetik, seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Besi yang teroksidasi seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai permitivitas dan permeabilitas yang sangat tinggi. Bahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuh dapat mencapai 65 emu/g. Berbagai penelitian dalam rangka mengembangkan *Radar Absorbing Material* (RAM) semakin banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian tentang penggunaan polimer konduktif untuk meningkatkan kualitas RAM. Polimer konduktif menunjukkan sifat khusus dibandingkan dengan logam dalam artian bahwa polimer ini dapat mengurangi refleksi, dan dapat menyerap radiasi elektromagnetik (Kaynak, 1996). Polianilin (PAni) merupakan salah satu polimer konduktif yang menarik karena PAni memiliki sifat yang unik, antara lain memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi. Jika dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya polianilin (PAni) lebih mudah disintesis baik secara elektrokimia maupun secara kimia.

Pengembangan material pengabsorpsi gelombang RADAR (*RADAR absorbing materials* (RAM)) berbasis PAni juga telah diteliti oleh Das dkk (2012). Komposit ini mengandung nanopartikel  $\text{BaTiO}_3\text{-Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ . Material komposit ini menunjukkan daerah absorpsi frekuensi yang lebar, dengan *reflection loss* -15.78 dB, dan daya absorpsi gelombang mikro > 97% pada 10,8 GHz. Selain itu, Elsayed dkk, (2011) mensintesis Polianilin (PAni-EB) mengandung  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  (M adalah *divalent*;  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$ ) dengan menggunakan metode secara kimia. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan stabilitas termal pada nanokomposit.



Berdasarkan penelitian-penelitian yang ada, maka pada penelitian ini dikembangkan material nanokomposit berbasis PANi dengan menggunakan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai *filler* pada matriks PANi. Pada penelitian-penelitian terdahulu, diketahui bahwa sintesis nanokomposit dilakukan menggunakan bahan-bahan komersial, sedangkan dalam penelitian ini akan digunakan bahan atau material yang disintesis dari alam, yaitu batuan besi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, yaitu sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , diperoleh nilai suseptibilitas sebesar  $118.942,42 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (Hasanah, 2012). Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang akan digunakan sebagai filler magnetik pada penelitian. Material ini diharapkan dapat diaplikasikan sebagai material penyerap magnetik pada gelombang mikro.

Nanokomposit PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  didapatkan melalui beberapa tahap, tahap pertama yaitu pembuatan serbuk PANi, tahap kedua PANi di-*filter* dengan bahan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sehingga diperoleh nanokomposit PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Setelah itu nanokomposit PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan dilakukan karakterisasi terhadap sifat listrik menggunakan LCR meter, sifat magnet menggunakan *susceptibility meter* dan daya serap terhadap gelombang mikro menggunakan *Vector Network Analyser*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis polianilin (PANi) dengan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  untuk mendapatkan material penyerap magnetik pada gelombang mikro.
2. Menganalisis pengaruh penambahan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada polimer konduktif PANi melalui penghitungan konduktivitas listrik, suseptibilitas magnetik, *Reflection Loss* dan koefisien absorpsi terhadap gelombang mikro.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang sifat magnetik, sifat listrik, daya serap nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap gelombang mikro yang dapat diaplikasikan sebagai material penyerap RADAR.

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan pembatasan masalah yaitu:

1. Komposisi penambahan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada polimer konduktif PAni divariasikan dari 0,1 g sampai 0,5 g.
2. Karakterisasi sifat listrik dan sifat magnet diuji dengan LCR meter dan *susceptibility* meter. Sedangkan daya serap bahan terhadap gelombang mikro akan diuji menggunakan *Vector Network Analyser*.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Polimer Konduktif**

Pada umumnya polimer merupakan golongan material yang bersifat non konduktif. Namun, penelitian polimer telah menemukan berbagai polimer yang bersifat konduktif maupun semikonduktif. Polimer konduktif menghasilkan arus dengan cara yang sama seperti logam, elektron bebasnya bergerak menyearah untuk menghasilkan arus (Fuller, 2009). Material jenis baru yang ditemukan bersifat semikonduktif yang merupakan gabungan sifat-sifat elektrik dan optik semikonduktor anorganik dengan polimer yang memiliki kelenturan mekanis.

Penemuan polimer konduktif telah melahirkan penelitian yang intensif yang menunjukkan sifat-sifat elektrik pada polimer yang berkisar dari tidak dapat menghantar, semikonduktif sampai konduktif. Polimer konduktif mudah dalam proses sintesis, sangat menarik karena stabil terhadap lingkungan dan bahan baku kimianya tersedia di pasaran dalam negeri (Miakrajuddin, dkk., 1995).

Polimer konduktif adalah polimer terkonjugasi yang menunjukkan perubahan ikatan tunggal dan ganda antara atom-atom karbon pada rantai utama polimer. Ikatan ganda diperoleh dari karbon yang memiliki empat elektron valensi, namun pada molekul terkonjugasi hanya memiliki tiga (kadang-kadang dua) atom lain. Suatu zat dapat bersifat polimer konduktif jika mempunyai ikatan rangkap yang terkonjugasi. Contoh dari polimer terkonjugasi adalah plastik

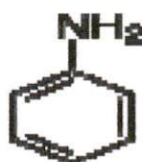


tradisional (*polyethylen*), sedangkan polimer konduktif antara lain: *polyacetilen*, *polpyrol*, *polytiopen*, *polyaniline*, dan lain-lain.

## 2.2 Polianilin (PAni)

Polianilin (PAni) adalah salah satu polimer konduktif yang banyak dikaji lebih dari dua dekade terakhir karena sifat fisika dan kimianya yang khas sehingga memiliki aplikasi yang luas. Polianilin (PAni) dapat dihasilkan dari proses polimerisasi monomer anilin ( $C_6H_5NH_2$ ). Struktur polianilin secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Kelebihan dari sifat polianilin adalah mudah untuk disintesis, memiliki kestabilan yang tinggi terhadap lingkungan, mudah diubah konduktivitasnya dengan cara doping dan tahan korosi. Polianilin memiliki sifat listrik dan optik yang dapat dibalik melalui proses doping. Berdasarkan sifat listriknya polianilin dibagi menjadi dua yaitu polianilin konduktif dan polianilin isolatif.

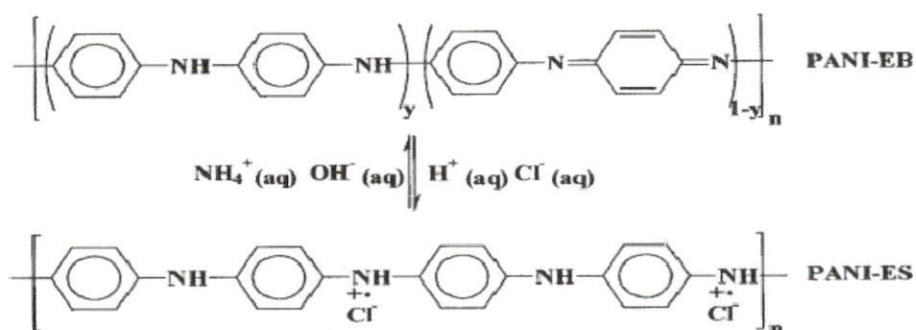


Gambar 2.1 Struktur aniline  
(Sumber: Indah, dkk., 2010)

Berdasarkan tingkat oksidasinya, polianilin dapat disintesis dalam beberapa bentuk isolatifnya yaitu *Leucomeraldine Base* (LB) yang tereduksi penuh, *Emeraldine Base* (EB) yang teroksidasi setengah dan *Pernigranilin Base* (PB) yang teroksidasi penuh.

*Emeraldine Base* merupakan bentuk yang paling stabil dan juga paling luas diteliti karena konduktivitasnya dapat diatur dari  $10^{-10}$  S/cm hingga 100 S/cm melalui proses doping, sedangkan bentuk LB dan PB tidak dapat dibuat konduktif. Bentuk EB dapat dibuat konduktif dengan proses doping asam protonik seperti HCl. Bentuk konduktif dari EB disebut *Emeraldine Salt* (ES).

Bentuk dasar EB berubah menjadi ES melalui reaksi oksidasi dengan asam-asam protonik seperti HCl, sebaliknya bentuk ES dapat dikembalikan menjadi bentuk EB melalui reaksi reduksi dengan reduktan seperti  $\text{NH}_4\text{OH}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kedua proses ini disebut juga proses protonasi-deprotonasi atau doping-dedoping. Kedua bentuk *Emeraldine* memiliki sifat listrik yang berkebalikan dimana EB merupakan bentuk isolatif dan ES merupakan bentuk konduktif.



Gambar 2.2 Reaksi Protonasi-deprotonasi dari Polianilin  
(Sumber: Indah, dkk., 2010)

Derajat konduktivitas *emeraldine* ini bergantung pada tingkat/konsentrasi doping yang diberikan, yaitu jumlah proton ( $\text{H}^+$ ) yang dimasukkan ke dalam struktur *emeraldine*. Secara umum *emeraldine* berwarna hijau yang konduktivitasnya dalam tingkat semikonduktor pada orde  $10^0$  S/cm, ordenya

melebihi polimer secara umum ( $<10^{-9}$  S/cm) tetapi lebih rendah dari jenis logam ( $>10^4$  S/cm). PANi terprotonasi, seperti PANi hidroklorid mengubah ES yang berwarna hijau menjadi EB nonkonduktif yang berwarna biru ketika diuji dengan amonium hidroksida.

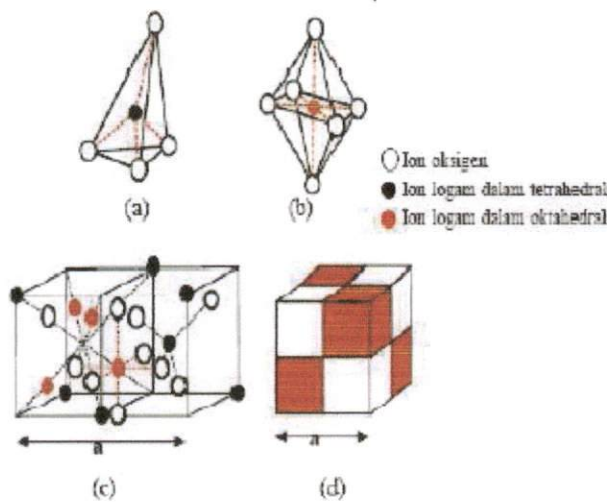
### 2.3 Material Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Material nanopartikel magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) mempunyai sifat magnet yang unik dibandingkan material dalam ukuran bulk. Dimana, material ini memiliki sifat yang mirip dengan paramagnetik dan mengandung sifat material ferromagnetik atau mengandung domain magnet dalam ukuran kecil yang berbentuk kelompok (*cluster*).

Nanopartikel magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) mempunyai struktur kristal spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, dimana celah-celahnya ditempati oleh ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Delapan ion  $\text{Fe}^{3+}$  dalam tiap sel berada pada bagian tetrahedral, karena berlokasi di tengah sebuah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion oksigen (Gambar 2.3a). Sisanya delapan ion  $\text{Fe}^{3+}$  dan delapan ion  $\text{Fe}^{2+}$  berada pada bagian oktahedral, karena ion-ion oksigen sekitarnya menempati sudut-sudut sebuah oktahedron (Gambar 2.3b) yang sudut-sudutnya ditempati oleh enam atom oksigen. Tiap-tiap unit sel berisi sejumlah ion, satu unit sel terbagi menjadi delapan oktan (kubus spinel), masing-masing berukuran  $a/2$  (Gambar 2.3c), empat oktan yang berasir memiliki ukuran isi yang sama, begitu pula yang tidak diarsir. Ion-ion oksigen disusun dengan cara yang sama,



tetrahedral di oktan tersir dan oktahedral di oktan tidak tersir. Bentuk heksagonal dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Kristal ferrit  
(Sumber: Solihah, 2008)

Rumus kimia magnetit ditulis dalam bentuk  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  dimana satu bagian adalah wustite ( $\text{FeO}$ ) dan bagian lainnya adalah hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Partikel nanomagnetik memiliki sifat fisis dan kimia yang bervariasi dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Ukuran partikel, sifat magnetik, dan sifat permukaan dari partikel sangat penting dipertimbangkan.

Dalam beberapa tahun belakang ini, para peneliti dapat mensintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode-metode yang berbeda. Metode kopresipitasi adalah metode yang paling sederhana karena prosedurnya lebih mudah dilakukan dan memerlukan suhu reaksi yang rendah ( $<100^\circ\text{C}$ ). Hasil dari metode kopresipitasi ini akan didapatkan serbuk yang digunakan sebagai *filler* pada material komposit penyerap gelombang mikro. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ini mempunyai permitivitas dan permeabilitas yang sangat tinggi. Nanopartikel

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuh dapat mencapai 65 emu/g. Jika material magnetik ini termagnetisasi, maka material tersebut akan bersifat *non-reciprocal*, yang berarti karakteristiknya tergantung pada arah gerak gelombang yang melewatinya. Akibatnya material ini akan bersifat isolator bagi gelombang mikro, yang dapat bekerja pada frekuensi 1-100 GHz. Penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada polimer konduktif polianilin (PAni) akan meningkatkan sifat magnetik karena  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sendiri merupakan material magnetik.

## 2.4 Sifat Listrik

Salah satu sifat material yang sering dibahas adalah konduktivitas listrik. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalirkan arus listrik. Konduktivitas timbul karena elektron mudah bergerak dalam kisi dan tahanan terjadi akibat hamburan gelombang oleh ketidakaturan dalam susunan kisi. Konduktivitas logam penghantar sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur pepadu, pengotor atau ketidaksempurnaan dalam kristal logam, yang ketiganya banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri. Unsur-unsur pepadu selain mempengaruhi konduktivitas listrik, akan mempengaruhi sifat-sifat mekanika dan fisika lainnya.

Logam murni memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dari pada yang lebih rendah kemurniannya. Akan tetapi kekuatan mekanis logam murni adalah rendah. Konduktivitas listrik dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.1.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

Selanjutnya dengan mengetahui jari-jari sampel konduktivitas listrik dapat ditentukan dengan Persamaan 2.2.

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (2.2)$$

dengan

$\sigma$  : konduktivitas listrik suatu bahan ( $\Omega\text{m}$ )<sup>-1</sup>

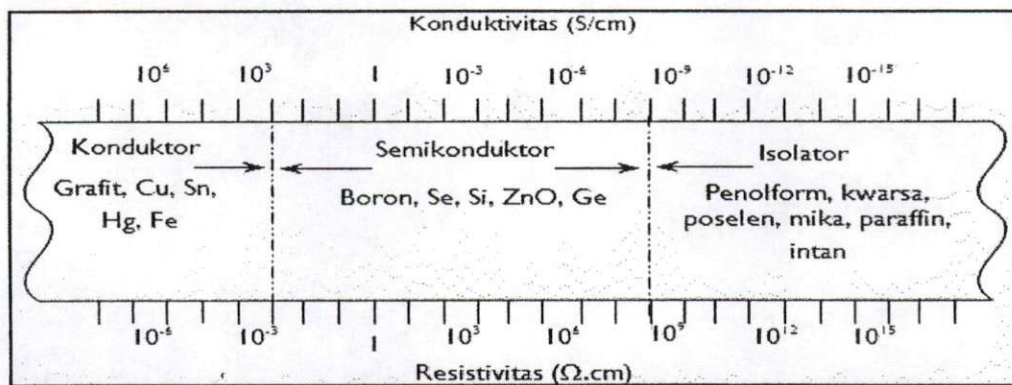
$R$  : resistansi ( $\Omega$ )

$\rho$  : resistivitas bahan ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  : ketebalan sampel (m)

$A$  : luas penampang sampel (m<sup>2</sup>)

Berdasarkan konduktivitasnya, berbagai material dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu material konduktor, semikonduktor dan isolator. Variasi skala konduktivitas dan resistivitas untuk ketiga material tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.

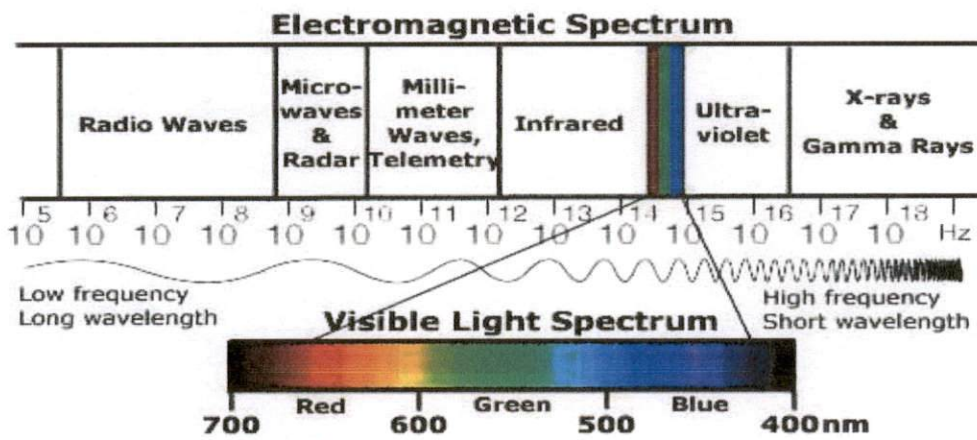


Gambar 2.4 Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas  
(Sumber: Mihardi, 2008)



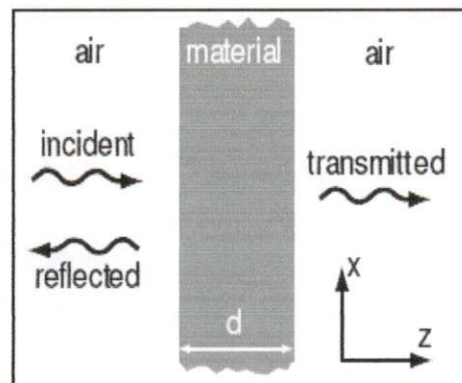
## 2.4 Penyerap Gelombang Mikro

Gelombang mikro (*Microwave*) merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara 1000 MHz ( $1 \times 10^9$  Hz) sampai 10 GHz ( $1 \times 10^{10}$  Hz) dengan panjang gelombang berkisar antara 1 mm-1m. Dimana frekuensi gelombang mikro dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Spektrum gelombang elektromagnetik  
(Sumber: Akhadi, 1997)

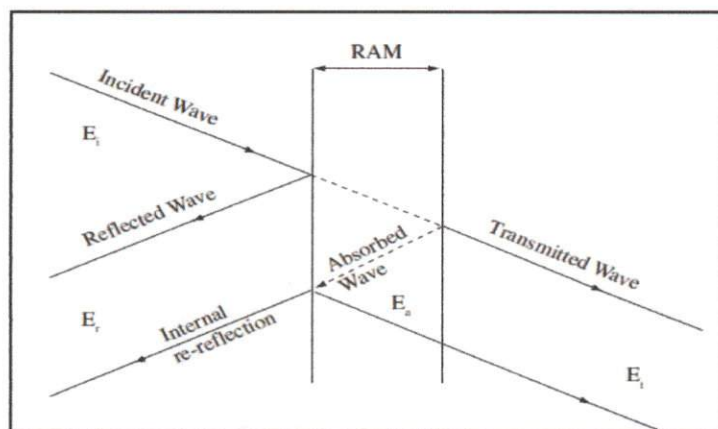
Setiap gelombang elektromagnetik yang datang pada suatu material, maka gelombang tersebut akan direfleksikan, diserap atau ditransmisikan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gelombang elektromagnetik yang mengenai material  
(Sumber : Shi, 2009)

Salah satu aplikasi gelombang mikro yaitu pada RADAR. Pesawat RADAR memanfaatkan sifat pemantulan gelombang mikro. Antena RADAR bertindak sebagai pemancar dan penerima gelombang, jika gelombang mikro dari pemancar mengenai sebuah objek maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dan diterima oleh penerima, sehingga objek tersebut akan terdeteksi oleh RADAR.

Perkembangan teknologi dalam beberapa tahun terakhir telah menciptakan sebuah teknologi baru yang dapat menandingi RADAR yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM). Teknologi ini memanfaatkan prinsip penyerapan atau pelemahan gelombang mikro. Gelombang mikro yang diterima oleh objek tidak dipantulkan melainkan diserap sehingga objek tidak akan terdeteksi. Energi yang diserap oleh RAM akan diubah menjadi energi panas. Jalannya gelombang elektromagnetik pada RAM dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jalannya gelombang elektromagnetik pada material anti RADAR  
(Sumber: Folgueras, dkk., 2007)



Pelemahan energi gelombang mikro terjadi karena *dielectric loss* atau *magnetic loss* pada penyerap gelombang mikro. *Dielectric loss* didapatkan dalam komponen imajiner dari permitivitas kompleks dan bekerja pada medan listrik. *Magnetic loss* ditemukan dalam komponen imajiner permeabilitas dan bekerja pada medan magnet (Mustafa, 2007). Permitivitas kompleks dan permeabilitas kompleks material penyerap adalah parameter dasar yang mencerminkan interaksi antara gelombang elektromagnetik dan material (Abdullah, dkk., 2012).

Absorpsi material terhadap gelombang mikro dihitung berdasarkan parameter hambur (*scattering parameter*) dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (2.3)$$

dengan

$A$  : koefisien absorpsi (%)

$|S_{11}|^2$  : koefisien *reflection* (%)

$|S_{21}|^2$  : koefisien transmisi (%)

Persamaan 2.3 menggambarkan hubungan kekekalan energi, angka satu pada ruas kanan menyatakan *incident energy*, sedangkan parameter hambur  $S_{11}$  merupakan koefisien pantul yang diperoleh dari hasil pengukuran *Vector Network Analyser* untuk port-1. Parameter hambur  $S_{21}$  menyatakan koefisien transmisi yang diperoleh dari port-2. Untuk mempelajari penyerapan gelombang mikro nilai *reflection loss* (RL) pada sampel juga dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.4.

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log |S_{11}| \quad (2.4)$$



dengan

RL : *Reflection Loss* (dB)

S<sub>11</sub> : *forward Reflection* (dB)

Nilai RL dapat digunakan untuk memprediksi absorpsi material terhadap gelombang mikro, semakin besar nilai negatif RL maka diprediksi nilai absorpsi material tersebut juga semakin besar. Nilai RL mengindikasikan peristiwa penyerapan atau pemantulan minimum energi gelombang elektromagnetik (Phang, dkk., 2008). Pada penyerapan gelombang mikro RL berhubungan dengan frekuensi, ketebalan sampel, permitivitas dan permeabilitas relatif kompleks.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dimulai dari bulan April sampai bulan Juni 2012 di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA UNAND, dan Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas Farmasi UNAND. Karakterisasi LCR Meter dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Andalas, karakterisasi *Magnetic Susceptibility* Meter dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi Universitas Andalas, dan karakterisasi *Vector Network Analyser* dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

1. Kertas Saring wathman 40 digunakan untuk menyaring larutan.
2. Gelas kimia digunakan sebagai tempat untuk melarutkan, mencampur, dan mengaduk larutan.
3. Oven digunakan untuk mengeringkan sampel.
4. *Hot Plate Magnetic Stirrer* C-MAG HS 7 digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan.
5. Timbangan digital PGW 2502i digunakan untuk mengukur massa dari bahan yang digunakan.

6. Logam penjepit digunakan untuk menjepit tabung reaksi pada saat pemanasan dan untuk membantu pengambilan sampel lain pada kondisi panas.
7. Pipet tetes digunakan untuk mengambil sampel bahan berbentuk larutan dalam jumlah kecil,
8. Spatula digunakan untuk pengambil bahan berbentuk padatan atau serbuk.
9. Cawan petri digunakan untuk wadah pelarut zat.
10. *Alumina Crucible* digunakan untuk wadah saat sampel dipanaskan di dalam oven.

### 3.2.2 Bahan

1. Alkohol 70 % sebanyak 100 ml untuk membersihkan alat-alat yang digunakan.
2. Asam klorida (HCl) 1 M sebanyak 50 ml sebagai bahan campuran dengan monomer aniline.
3. Aquades 100 ml untuk mencuci endapan polianilin.
4. Aseton 97 % digunakan untuk mencuci larutan sebanyak 3 kali.
5. Methanol 99 % digunakan untuk mencuci larutan sebanyak 3 kali.
6. Ammonium Peroksidisulfat ((NH)<sub>4</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) sebanyak 6 gr digunakan sebagai campuran pada larutan HCl.
7. Monomer Anilin (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>) sebanyak 50 mL sebagai bahan untuk membuat polianilin (PAni).
8. Serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada PAni.



### 3.3 Teknik Penelitian

#### 3.3.1 Pembuatan Serbuk PAni

Serbuk PAni dapat disintesis melalui metode polimerisasi oksidasi secara kimia. Metode oksidasi kimia merupakan metode sintesis yang sederhana pada suhu ruang dan menghasilkan PAni dalam skala besar. Sintesis PAni yang dilakukan berdasarkan penelitian Phang (2008) dan Prastiwi (2011) yaitu dengan cara mencampurkan 50 mL asam klorida (HCl) 1 M dengan 2 mL monomer anilin ( $C_6H_5NH_2$ ) menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Sementara itu dalam waktu yang bersamaan 6 gr Ammonium Peroksidisulfat ( $(NH_4)_2S_2O_8$ ) dilarutkan dalam 50 ml HCL 1 M dan diaduk selama 1 jam. Kedua larutan tersebut dicampurkan ke dalam satu wadah kimia, kemudian diaduk dan didiamkan selama 4 jam, setelah itu didinginkan didalam pendingin es selama 24 jam. Reaksi telah selesai ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna hijau, kemudian endapan tersebut disaring dan dicuci dengan aquades, aseton dan methanol masing-masing 3 kali. Hasil endapan tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu  $80^\circ C$  selama 2 jam.

#### 3.3.2 Penambahan Nanopartikel $Fe_3O_4$ pada Polianilin (PAni)

Nanokomposit PAni/ $Fe_3O_4$  diperoleh dengan cara menambahkan nanopartikel  $Fe_3O_4$  (*filler*) ke dalam serbuk PAni (matriks). Komposisi PAni dan  $Fe_3O_4$  pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi PAni dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada masing-masing sampel

No	Sampel	Massa PAni (g)	Massa $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (g)
1	A	1	0,1
2	B	1	0,2
3	C	1	0,3
4	D	1	0,4
5	E	1	0,5

Sebelum dikarakterisasi setiap sampel dikompaksi dengan menggunakan alat kompaksi manual di Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas Farmasi UNAND sehingga hasil akhir yang diperoleh berupa tablet dengan ketebalan 0,3 cm dan diameter 1,2 cm.

### 3.4 Karakterisasi

#### 3.4.1 LCR Meter

Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan menggunakan alat LCR Meter (model TH2820). LCR meter merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengukur induksi, kapasitansi dan resistansi dari suatu bahan. Dari LCR meter akan diperoleh nilai resistansi masing-masing sampel. Dari nilai resistansi tersebut dapat diperoleh nilai konduktivitas bahan yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2. Karakterisasi dengan LCR Meter TH2820 dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 LCR Meter TH2820

Pengujian dengan alat LCR meter TH2820 menggunakan tegangan maksimum 100 volt. Ketebalan dan jari-jari sampel yaitu 0,3 cm dan 0,6 cm dengan luas penampang sampel adalah sebesar  $1,1304 \text{ cm}^2$ .

Cara kerja LCR meter TH2820

1. Alat LCR meter TH2820 dikeluarkan.
2. Alat dihidupkan dengan menekan ON, kemudian kabel penjepit A dikeluarkan yang digunakan sebagai kabel penghubung antara HS ke LD dan penjepit sampel. Kemudian kabel penjepit B digunakan sebagai kabel penghubung antara HS ke LD.
3. Alat digunakan sesuai dengan pengukuran yang ingin dilakukan dengan menekan tombol biru sehingga akan keluar R-Q, R-C, L-C, L-Q.
4. Resistansi dicari dengan mengambil R-Q atau R-C, frekuensi divariasikan dengan interval 100 Hz, 120 Hz, dan 1000 Hz.
5. Sampel dijepit dengan menggunakan kabel penjepit A dan kabel penjepit B yang telah dipasang, kemudian didapatkan hasil pengukuran.

### **3.4.2 Magnetic Susceptibility Meter**

*Magnetic Susceptibility Meter* digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnetik partikel PAni dengan penambahan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Pengukuran dengan menggunakan *Magnetic Susceptibility Meter* dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas. *Magnetic*



*Susceptibility Meter* yang digunakan adalah *Bartington Magnetic Susceptibility* sensor model MS2 dengan *dual frequency sensor* model MS2B, seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Magnetic Susceptibility Meter*

#### Cara kerja *Magnetic Susceptibility Meter*

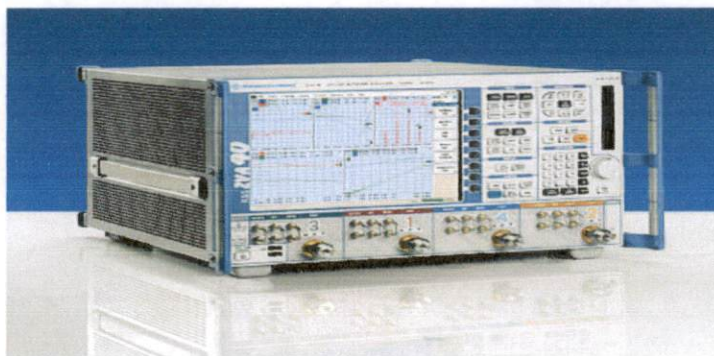
- Persiapan alat
  1. MS2 meter dan kedudukannya dikeluarkan.
  2. MS2 meter diletakkan di dudukan.
  3. MS2B sensor dikeluarkan, kotak kabel A dikeluarkan dan kabel TNC (penghubung antara MS2 meter dengan MS2B *dual frequency sensor*) diambil.
  4. MS2 meter dengan MS2B sensor dihubungkan dengan kabel TNC.
  5. MS2 meter dihubungkan dengan komputer menggunakan kabel penghubung yang disambungkan ke CPU komputer.
  6. MS2 meter dihidupkan dengan cara tombol *off* dipindahkan ke SI, sebelum dilanjutkan diperiksa baterai, dipindahkan ke *gate* apabila lampu hijau menjala artinya baterai penuh.
  7. MS2 meter diperiksa apakah dengan MS2B sudah terhubung dengan cara *greet* ditekan, apabila *greet* menunjukkan O berarti terhubung.

8. MS2 diperiksa apakah terhubung dengan komputer dengan cara *software* (multisure) dicek, kemudian *serial port* dipilih, kemudian *test communications* dipilih dan ditekan ok.
  9. *Serial port communications test* dikeluarkan dan dipilih 1,0, kemudian *zero* ditekan, maka keluar warna merah yang bertulisan 0000 pada MS2 yang berarti sudah terhubung dan kemudian *close* ditekan.
  10. Setelah selesai *susceptibility meter* siap di gunakan.
- Pengukuran sampel
1. Sampel yang akan diukur disiapkan di atas dudukan.
  2. *File new* diklik data file dipilih MS2B *dual frequency sensor*, ok ditekan keluar MS2B *sensor setup*.
  3. Nama di *batch reference* dimasukkan contohnya A, kemudian diklik *volume specific* akan keluar *container suseptibility corection*, dipilih *none (automatic when corrections applicasi)* lalu ok.
  4. MS2B *volume specifi corection* dikeluarkan, dipilih 10 ml clindericabothe ditekan ok.
  5. *Measurengent* dikeluarkan for sample titik 1.1, *first air sensor* ditekan dalam keadaan kosong, kemudian sample dimasukkan ke dalam sensor, sampel (Fg) ditekan.
  6. Sampel dikeluarkan dengan *last Air* (F10) ditekan maka akan keluar *confirm* lalu ok ditekan. Kemudian *save volume* ditekan, MS2B *batch A* dikeluarkan.

7. Di ukur sekali lagi diganti titik 1.2 (ganti posisi) *first Air* ditekan, sampel dimasukkan, sampel ditekan maka akan keluar nilai.
8. *Last Air* ditekan, *save volume* (di ulang dengan posisi berbeda).

### 3.4.3 Vector Network Analyser

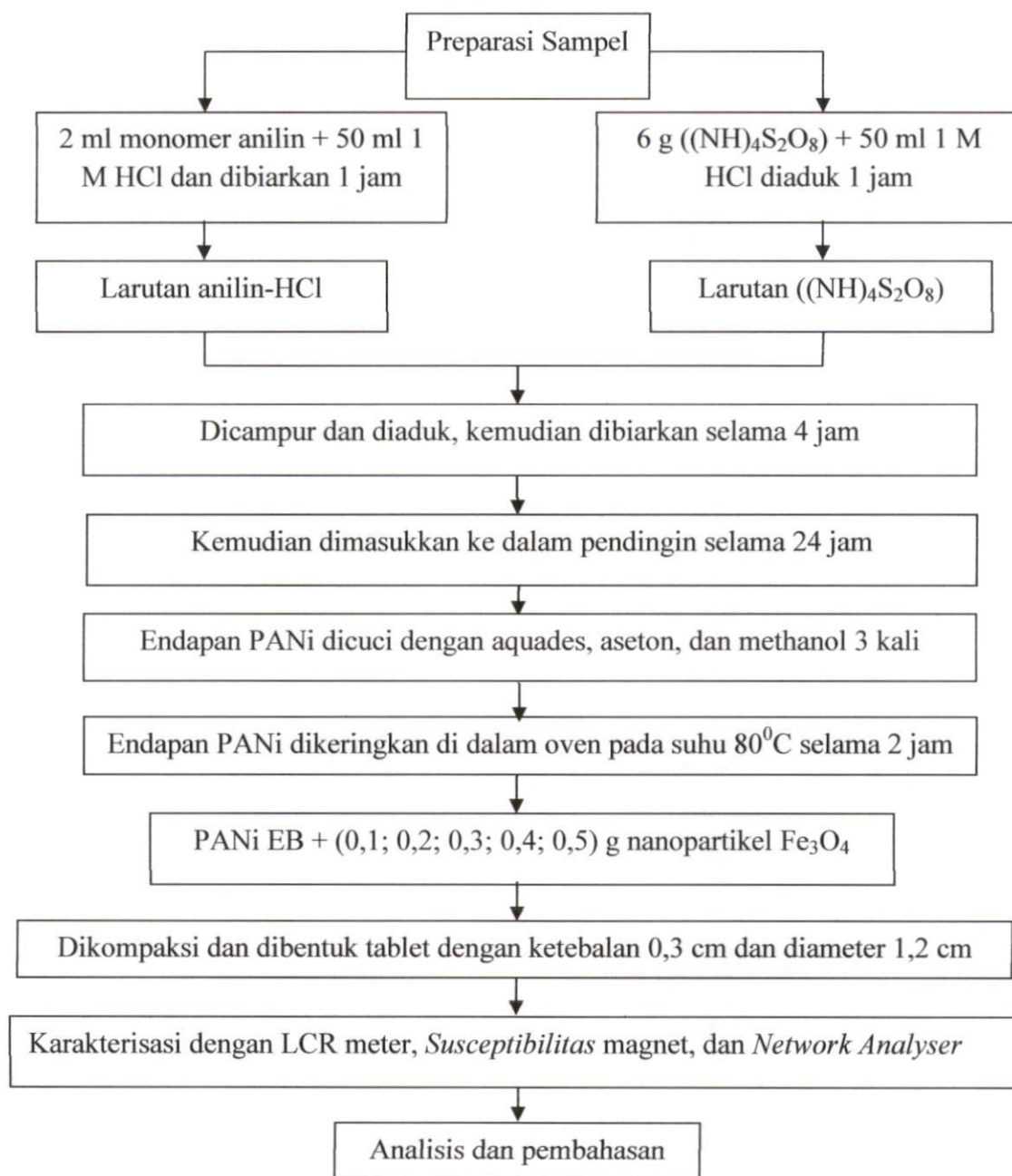
Daya penyerap magnetik terhadap gelombang mikro diukur dengan menggunakan alat *Vector Network Analyser* (model *Advantest*) pada kisaran frekuensi 5,01 GHz - 10 GHz. Dari *Vector Network Analyser* akan diperoleh nilai parameter hambur (*scattering parameter*). Berdasarkan nilai parameter hambur tersebut dapat dihitung nilai absorpsi dan *reflection loss* bahan terhadap gelombang mikro dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4. Karakterisasi daya serap bahan terhadap gelombang mikro ini dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung. Alat *Vector Network Analyser* dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 *Vector Network Analyser*



### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanokomposit PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang sudah dikompaksi dikarakterisasi dengan LCR Meter TH2820, *Magnetic Susceptibility Meter*, dan *Vector Network Analyzer*.

#### 4.1 Analisis Sifat Listrik

##### 4.1.1 Penentuan Nilai Konduktivitas PANi dan PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

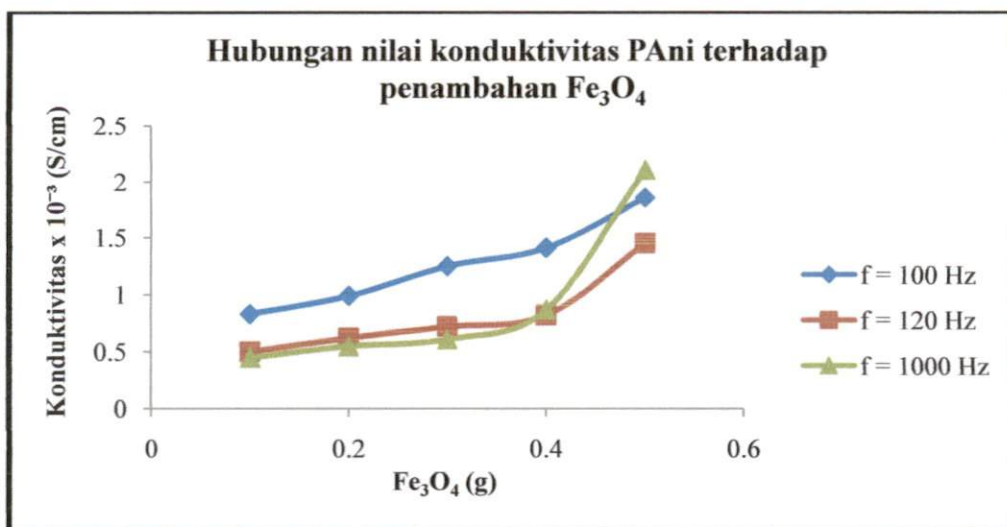
Pengujian sifat listrik pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat LCR meter TH2820. Ketebalan dan jari-jari sampel yaitu 0,3 cm dan 0,6 cm dengan luas penampang sampel adalah sebesar 1,1304 cm<sup>2</sup>. Dari hasil pengukuran nilai resistansi dari masing-masing sampel maka dapat dihitung nilai konduktivitas yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data nilai konduktivitas PANi dan PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

No.	Sampel	Resistansi ( $\Omega$ )			Konduktivitas x 10 <sup>-3</sup> (S/cm)		
		100 (Hz)	120 (Hz)	1000 (Hz)	100 (Hz)	120 (Hz)	1000 (Hz)
1.	PAni Murni	31,21	6,40	3,56	8,50	41,47	74,55
2.	A	318,5	528,6	596,2	0,83	0,50	0,45
3.	B	269,38	430,2	486,7	0,99	0,62	0,55
4.	C	211,67	370,35	433,45	1,25	0,72	0,61
5.	D	188,51	323,65	304,7	1,41	0,82	0,87
6.	E	142,44	182,79	125,86	1,86	1,45	2,11

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas PAni murni berdasarkan variasi frekuensi berkisar antara  $8,50 \times 10^{-3}$  S/cm sampai  $74,55 \times 10^{-3}$  S/cm. Sedangkan secara teori nilai konduktivitas PAni murni yaitu berkisar antara  $10^{-10}$  S/cm sampai 100 S/cm (Indah, dkk., 2010). Hal ini berarti PAni yang diperoleh cukup konduktif. Berdasarkan spektrum konduktivitas listrik, nilai konduktivitas PAni yang diperoleh berada dalam rentang konduktivitas material semikonduktor. Nilai konduktivitas PAni murni meningkat berdasarkan peningkatan frekuensi, semakin tinggi frekuensi yang diberikan pada material maka nilai konduktivitas yang diperoleh akan semakin tinggi juga. Kenaikan frekuensi akan meningkatkan energi kinetik pada material sehingga terjadi transfer muatan yang tinggi pada daerah antar muka. Kondisi ini menjelaskan terjadinya aliran elektron pada kondisi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) menuju kondisi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) semakin besar. Semakin besar frekuensi yang diberikan pada material maka akan meningkatkan aliran muatan atau nilai konduktivitas material (Sitorus, dkk., 2011). Hubungan konduktivitas PAni terhadap penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilihat pada Gambar 4.2.





Gambar 4.1 Grafik hubungan nilai konduktivitas PANi terhadap penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas sampel lebih tinggi pada frekuensi 1000 Hz. Dalam hal ini konduktivitas PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dipengaruhi oleh komposisi penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Semakin banyak  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang ditambahkan, nilai konduktivitas sampel juga semakin besar. Pada penelitian sebelumnya diperoleh hasil yang sama yaitu dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan komposisi yang semakin tinggi terhadap polimer komposit elektrolit (PVA/LiOH) dengan hasil konduktivitas maksimum  $1,81 \times 10^{-3}$  S/cm (Abdullah, dkk., 2010). Namun, jika dibandingkan dengan PANi murni nilai konduktivitas PANi yang ditambahkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  jauh lebih rendah. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang lebih besar bila dibandingkan ion  $\text{Cl}^-$ , sehingga terjadi pemutusan ikatan antara rantai yang mengakibatkan penurunan koherensi/kopling antara rantai polimer. Pergerakan muatan yang melompati ujung rantai (yang mempunyai ikatan N- $\text{Cl}^-$ ) akan terhambat dengan keberadaan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Alam, 2007).

Selain itu, hal ini juga disebabkan oleh sebaran partikel dari serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ke dalam serbuk PANi yang tidak merata, dan konsentrasinya cukup kecil. Pada penelitian sebelumnya dijelaskan juga bahwa penambahan dopan berupa logam juga dapat meningkatkan konduktivitas PANi seperti yang dilakukan oleh (Valsangiacom, dkk., 2004), dimana nilai konduktivitas yang diperoleh dari proses pendopongan PANi dengan serbuk besi (Fe) adalah sebesar  $10 \text{ mW/cm}^2$ .

Berdasarkan teori, secara keseluruhan pengukuran nilai konduktivitas PANi yang mengalami proses pendopongan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi dopan yang ditambahkan, homogenitas dopan dalam PANi, derajat kristalinitas, dan morfologi polimer serta reaksi kimia yang terjadi antara dopan dengan polimer tersebut (Bhullar, 2009).

Berdasarkan nilai konduktivitasnya, PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ini berada pada rentang sifat semikonduktor. Bahan semikonduktor cocok digunakan sebagai penyerap gelombang mikro karena bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan material penyerap gelombang mikro, maka akan terbentuk medan listrik pada permukaan penyerap. Setelah itu arus akan mengalir sebagai arus permukaan. Ketika arus permukaan mengalir pada penyerap, energi gelombang mikro akan diubah dalam bentuk energi panas (Mustafa, 2007).

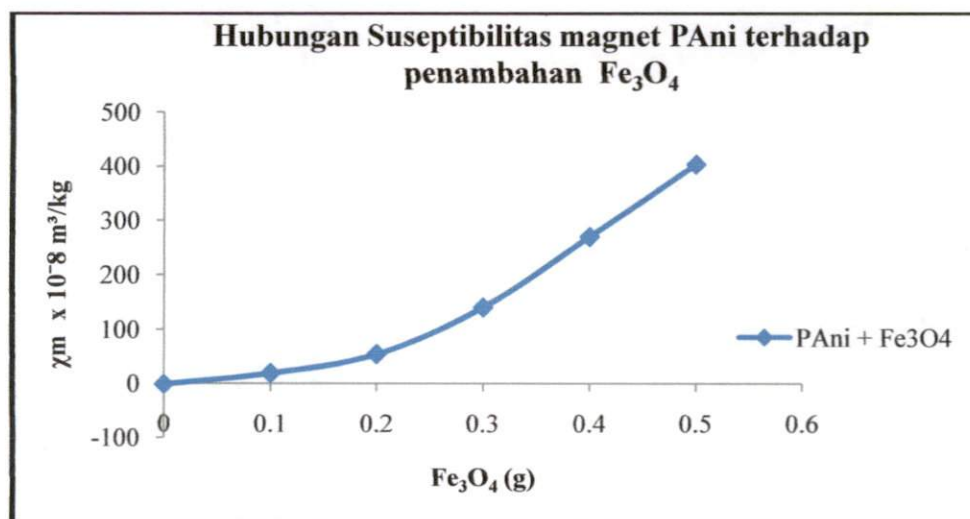
## 4.2 Analisis Sifat Magnet

Pengujian sifat magnet pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Magnetic Susceptibility Meter*. Pengukuran untuk masing-masing sampel dilakukan lima kali pengukuran, kemudian hasil pengukuran tersebut dirata-ratakan dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil rata-rata pengukuran suseptibilitas magnet pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Suseptibilitas magnet

No	Sampel	Suseptibilitas Magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1.	PAni	-1
2.	PAni + 0,1 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$	19,2
3.	PAni + 0,2 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$	54,6
4.	PAni + 0,3 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$	140,6
5.	PAni + 0,4 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$	269,8
6.	PAni + 0,5 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$	403

Dari Tabel 4.2 dibuat hubungan perbandingan nilai suseptibilitas magnet terhadap PAni dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik nilai suseptibilitas magnet



Nilai suseptibilitas adalah fungsi dari banyaknya material magnetik dan menunjukkan jenis magnetic yang terdapat pada serbuk yang diperoleh (Mahardi, dkk., 2008). Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa suseptibilitas magnet PAni bernilai negatif, hal ini menunjukkan bahwa PAni tersebut merupakan material diamagnetik. Secara teori bahwa semakin besar kandungan mineral magnetik yang ditambahkan maka nilai suseptibilitas magnet juga semakin meningkat (Hunt, 1995). Penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada PAni menyebabkan perubahan sifat magnet nanokomposit secara keseluruhan, yaitu menuju sifat ferromagnetik. Hal ini dapat dilihat dari nilai suseptibilitas PAni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang bernilai positif yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Perbandingan dengan penelitian yang lain penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada PVA/LiOH meningkatkan sifat magnet PVA/LiOH. Semakin tinggi fraksi volume yang ditambahkan maka nilai suseptibilitas magnet juga semakin meningkat, sehingga nilai suseptibilitas magnet yang diperoleh antara  $36 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ – $1404 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan bersifat ferromagnetik (Abdullah, dkk., 2010).

Berdasarkan nilai suseptibilitas magnet nanokomposit PAni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang didapatkan mempunyai sifat ferromagnetik. Bahan ferromagnetik ini cocok digunakan sebagai penyerap gelombang mikro, dimana bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas (Elsayed, dkk., 2011).

### 4.3 Analisis Data *Vector Network Analyzer*

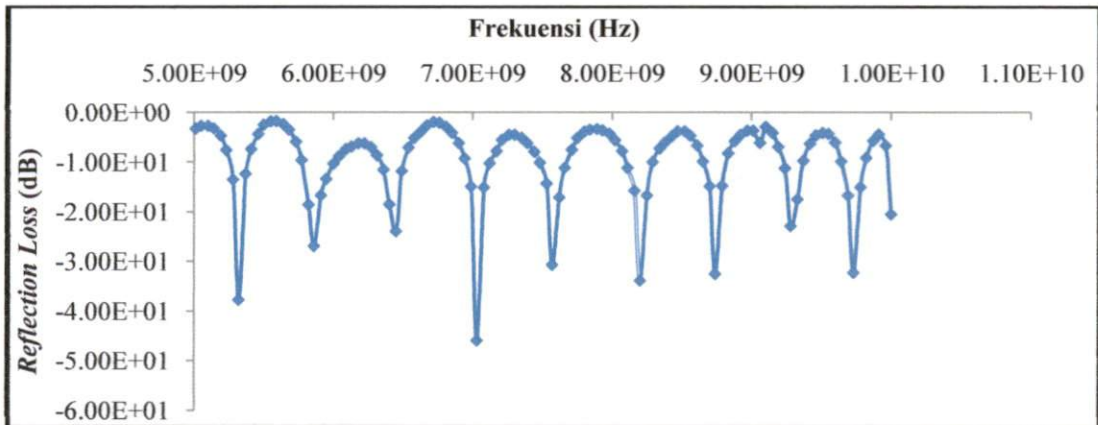
Pengujian dengan menggunakan alat *Vector Network Analyzer* dengan menggunakan pandu gelombang (*waveguide*) yang berukuran 3,5 cm x 1,75 cm. Berdasarkan *Vector Network Analyser* (VNA) diperoleh nilai parameter hambur (*scattering parameters*) yaitu  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  yang diukur pada frekuensi 5,01 sampai 10 GHz. Nilai *reflection loss* dihitung berdasarkan nilai parameter  $S_{11}$ . Parameter  $S_{11}$  menunjukkan koefisien pantul, sedangkan parameter  $S_{21}$  menunjukkan koefisien transmisi yang akan digunakan untuk menghitung nilai absorpsi.

#### 4.3.1 Penentuan Nilai *Reflection Loss* (RL)

Berdasarkan nilai parameter  $S_{11}$  maka dapat ditentukan nilai *Reflection Loss* (RL). Untuk mendapatkan nilai *Reflection Loss* (RL) dalam desibel digunakan Persamaan 2.4. Hasil perhitungan nilai *Reflection Loss* (RL) pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari Tabel pada Lampiran 4 dapat dibuat grafik hubungan frekuensi-*Reflection Loss* untuk masing-masing sampel yang akan dijelaskan pada sub-bab 4.3.1.1 sampai dengan 4.3.1.5

##### 4.3.1.1 PANi dengan penambahan 0,1 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel A)

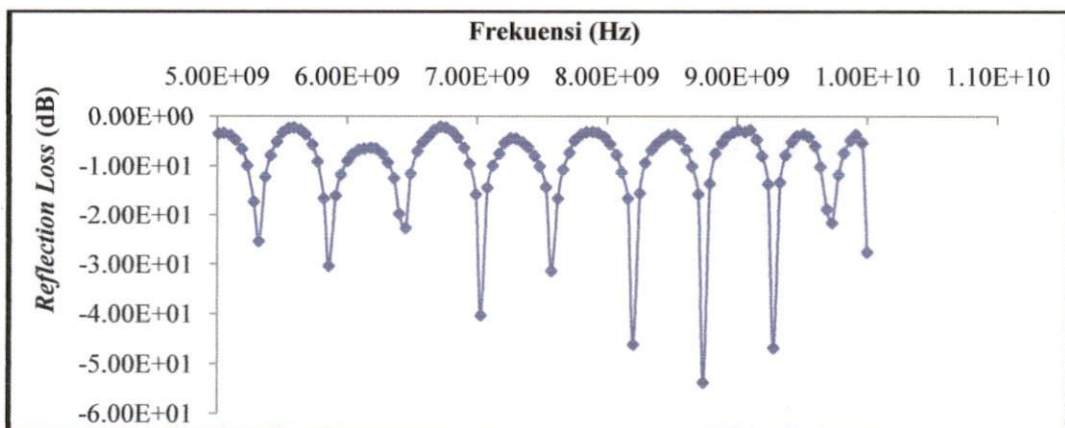
Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa sebagian besar *Reflection Loss* bernilai hampir sama untuk setiap rentang frekuensi, dimana *Reflection Loss* menunjukkan nilai yang cukup signifikan berada pada frekuensi 7 GHz.



Gambar 4.3 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *Reflection Loss* pada sampel A

#### 4.3.1.2 PANi dengan penambahan 0,2 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel B)

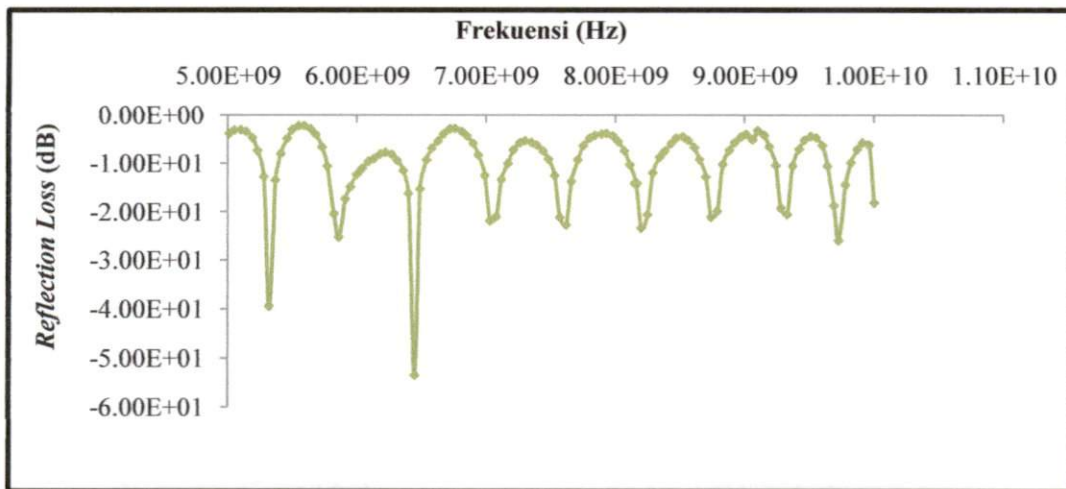
Nilai *Reflection Loss* sebagian besar berada pada rentang frekuensi 8 GHz -9,4 yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *Reflection Loss* pada sampel B

#### 4.3.1.3 PANi dengan penambahan 0,3 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel C)

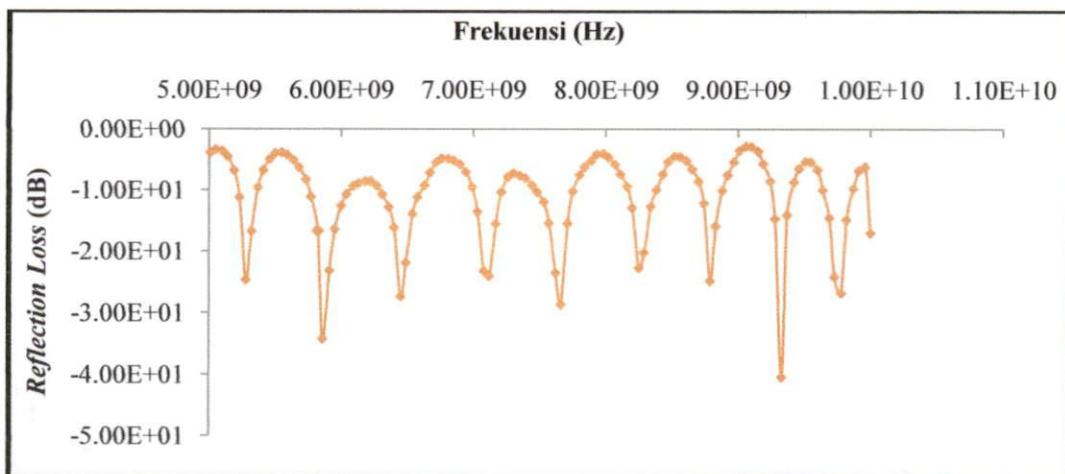
Sebagian besar *Reflection Loss* pada rentang frekuensi 8 GHz s.d 9 GHz bernilai maksimum yaitu -50 dB s.d -60 dB yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *Reflection Loss* pada sampel C

#### 4.3.1.4 PANi dengan penambahan 0,4 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat nilai *Reflection Loss* tertinggi pada sampel C pada frekuensi 9,33 GHz dan minimum pada rentang frekuensi 5,01GHz-9 GHz.

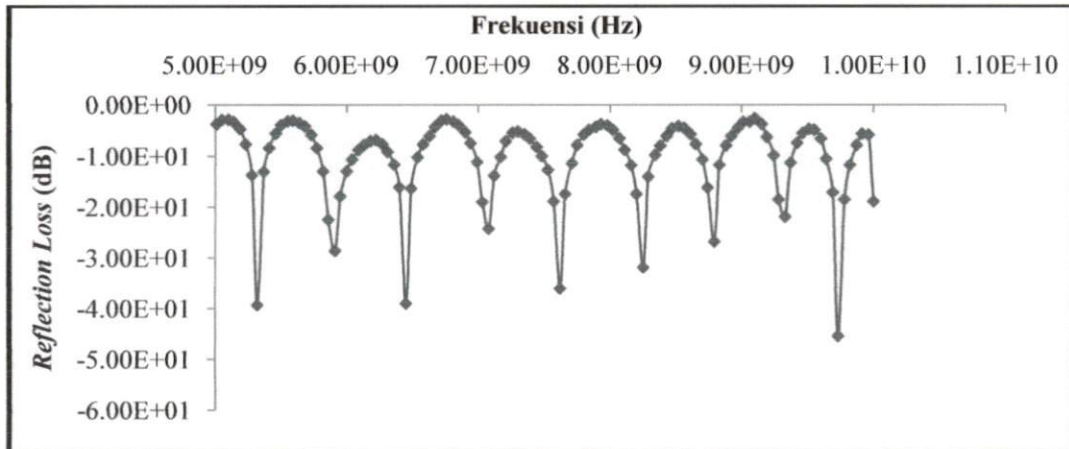


Gambar 4.6 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *Reflection Loss* pada sampel D



#### 4.3.1.5 PANi dengan penambahan 0,5 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel E)

Hasil pengukuran *Reflection Loss* pada sampel E dapat dilihat pada Gambar 4.7. Nilai *Reflection Loss* tertinggi pada frekuensi 9,73 GHz sedangkan *Reflection Loss* terendah pada frekuensi 5,01 GHz.



Gambar 4.7 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *Reflection Loss* pada sampel E

Pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki nilai *Reflection Loss* optimum terdapat pada sampel B yaitu PANi dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebanyak 0,2 g. Nilai *Reflection Loss* yang diperoleh sebesar -53,7 dB pada frekuensi 8,74 GHz, sedangkan nilai *Reflection Loss* minimum terdapat pada sampel A yaitu PANi dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebanyak 0,1 g sebesar -17,3 dB pada frekuensi 5,59 GHz. Nilai negatif pada *Reflection Loss* menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro. Penyerapan gelombang mikro pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai *Reflection Loss*, semakin besar nilai negatif *Reflection Loss* maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro (Phang, dkk., 2008). Semakin besar nilai *Reflection Loss* yang diperoleh maka nilai penyerapan

juga akan semakin besar. Akan tetapi *Reflection Loss* yang tinggi tidak selamanya menghasilkan absorpsi yang tinggi karena tidak semua gelombang mikro yang mengenai material tersebut diabsorpsi, tetapi ada juga yang direfleksikan dan ditransmisikan (Rinata, dkk., 2011). Selain itu, fenomena ini terjadi sebagai akibat dari gelombang mikro yang merambat pada suatu medium yang tergantung pada polarisasi gelombang, geometri permukaan, sifat material, dan karakteristik relatif material yaitu pemantulan, hamburan, pembiasan, dan penyerapan (Ludwig, dkk., 2011).

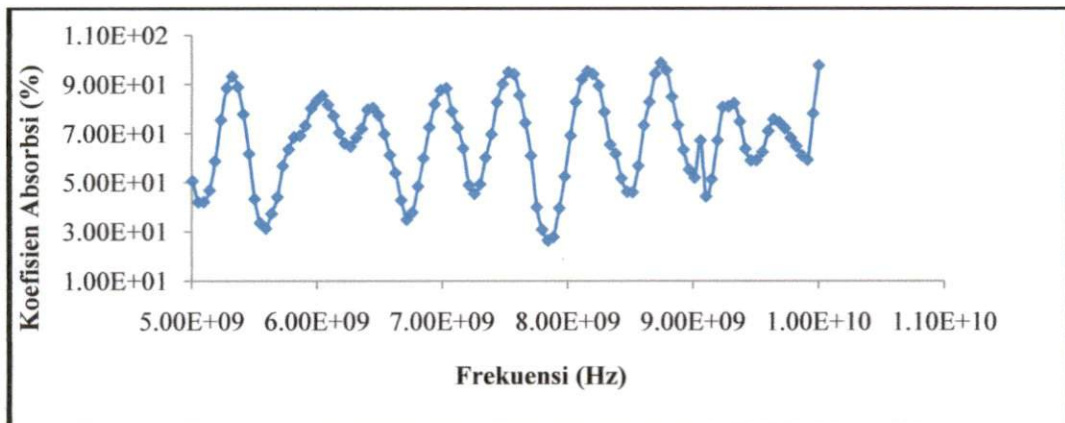
Perbandingan dengan peneliti sebelumnya bahwa material nanokomposit PAni/HA/TiO<sub>2</sub>/SWNT yang digunakan absorpsi gelombang mikro memiliki nilai *Reflection Loss* maksimum dengan penambahan SWNT 20% sebesar -21,7 dB pada frekuensi 6 GHz (Phang, dkk., 2008). Pada peneliti lain bahwa pada komposit resin epoksi-PAni/Barium M-Heksaferit dengan perbandingan komposisi 1:1 memiliki nilai *Reflection Loss* sebesar -37,12 dB pada rentang frekuensi x-band (Sudati, dkk., 2010).

#### **4.3.2 Penentuan Nilai Koefisien Absorpsi**

Penentuan nilai koefisien absorpsi terhadap material digunakan data  $S_{11}$  real dan  $S_{21}$  real dari hasil pengukuran dengan frekuensi 5 GHz – 10 GHz dengan menggunakan Persamaan 2.3. Nilai koefisien absorpsi yang diperoleh untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Lampiran 5. Dari Tabel pada Lampiran 5 dapat dibuat grafik hubungan frekuensi-absorpsi untuk masing-masing sampel yang akan dijelaskan pada sub-bab 4.3.2.1 sampai dengan 4.3.2.5.

#### 4.3.2.1 PANi dengan penambahan 0,1 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel A)

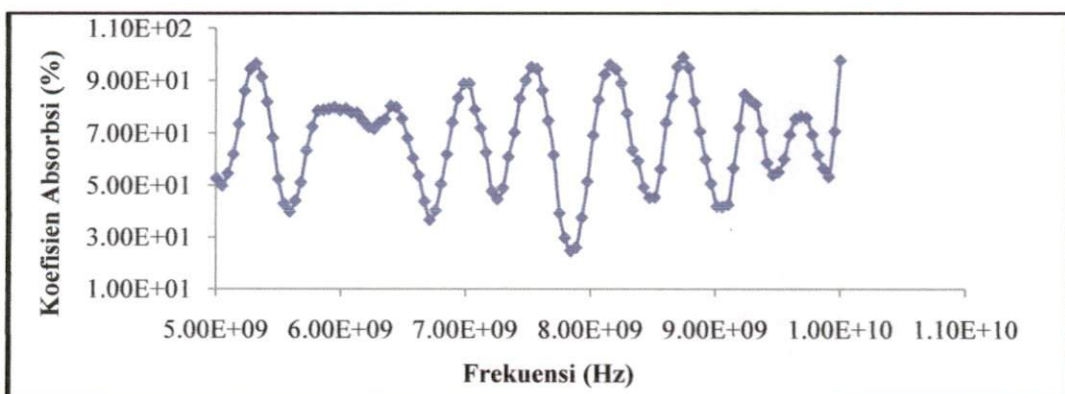
Nilai koefisien absorpsi yang dihasilkan pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.8. Nilai koefisien absorpsi tertinggi pada sampel tersebut sebesar 98,7% pada frekuensi 8,74 GHz .



Gambar 4.8 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel A

#### 4.3.2.2 PANi dengan penambahan 0,2 g $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Sampel B)

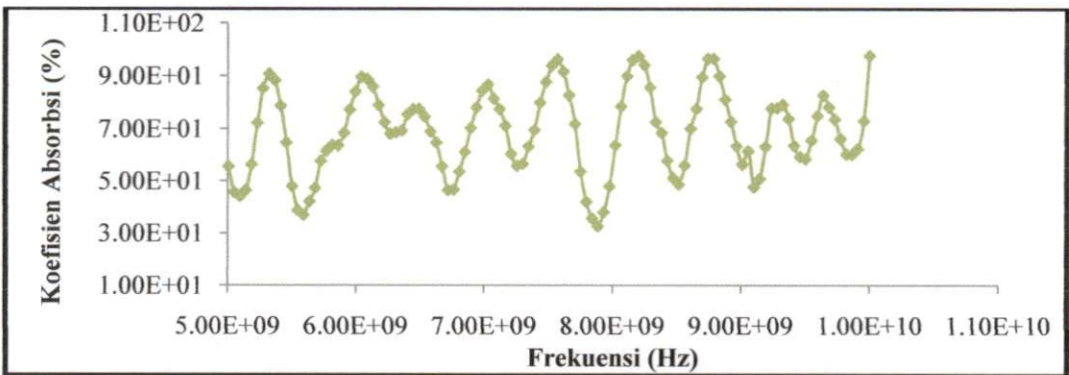
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi tertinggi pada sampel B sebesar 98,9% pada frekuensi 8,74 GHz. Koefisien absorpsi sampel B paling besar dari semua sampel.



Gambar 4.9 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel B

**4.3.2.3 PANi dengan penambahan 0,3 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Sampel C)**

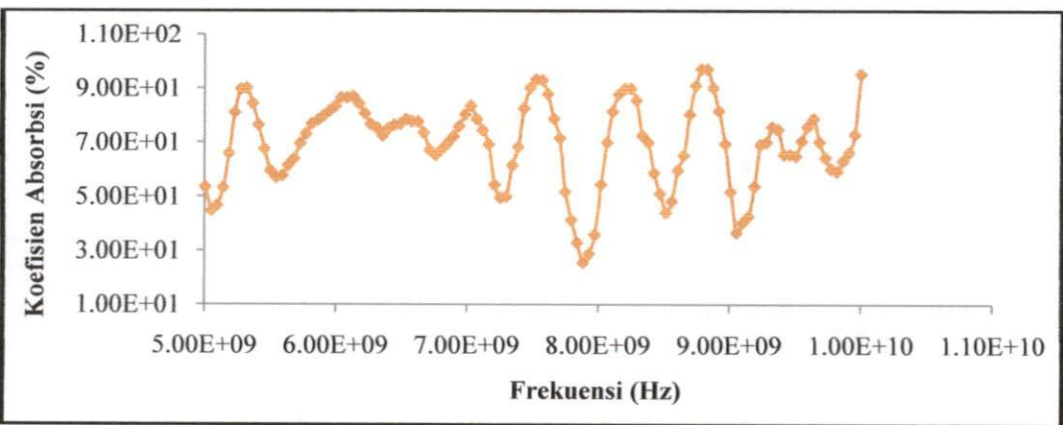
Nilai koefisien absorpsi yang dihasilkan pada sampel C dapat dilihat pada Gambar 4.10. Nilai koefisien absorpsi tertinggi sebesar 97,6% pada frekuensi 10 GHz. Koefisien absorpsi pada sampel C lebih kecil dari sampel B



Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel C

**4.3.2.4 PANi dengan penambahan 0,4 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Sampel D)**

Nilai koefisien absorpsi yang dihasilkan pada sampel D dapat dilihat pada Gambar 4.11. Nilai koefisien absorpsi tertinggi sebesar 97,1% pada frekuensi 8,79 GHz. Koefisien absorpsi pada sampel D lebih kecil dari sampel C.

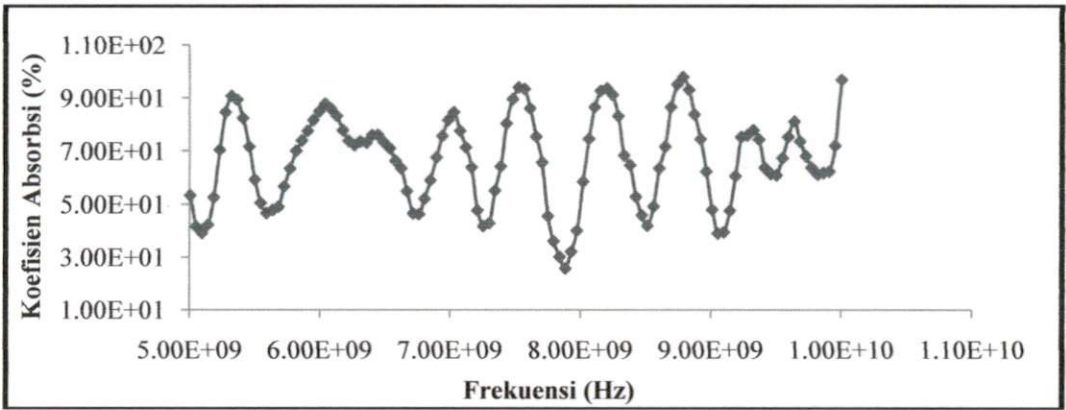


Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel D



4.3.2.5 PANi dengan penambahan 0,5 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Sampel E)

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat nilai koefisien absorpsi tertinggi pada sampel E sebesar 98% pada frekuensi 8,79 GHz. Koefisien absorpsi sampel E lebih besar dari sampel D.



Gambar 4.12 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai koefisien absorpsi pada sampel E

Perbandingan grafik *Reflection Loss* dan koefisien absorpsi untuk semua sampel dapat dilihat pada Lampiran 6 dan 7. Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi yang didapatkan untuk masing-masing sampel bervariasi. Nilai koefisien absorpsi adalah 97,1% sampai 98,9% dengan frekuensi antara 8,74 GHz-10 GHz.

Nilai koefisien absorpsi maksimum didapatkan pada sampel B pada frekuensi 8,74 GHz. Sampel B merupakan material ferromagnetik lebih kuat dari sampel A dan lebih kecil dari sampel C, sampel D dan sampel E yaitu sebesar  $19,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . Sedangkan nilai konduktivitasnya yaitu  $0,99 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$  pada frekuensi 100 Hz, nilai ini lebih kecil dari nilai konduktivitas sampel C, sampel D,

dan sampel E. Berdasarkan nilai *Reflection Loss* dan koefisien absorpsi didapatkan bahwa nanokomposit dengan penambahan 0,2 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  adalah material yang paling optimum menyerap gelombang mikro dibandingkan sampel yang lain. Dengan kata lain koefisien absorpsi optimum gelombang mikro tidak mutlak terjadi pada penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan massa yang lebih tinggi, konduktivitas dan suseptibilitas magnet paling tinggi. Pada penelitian sebelumnya PAni/HA/ $\text{TiO}_2$ /SWNT 20% yang memiliki konduktivitas  $1,27 \times 10^{-1}$  S/cm merupakan material yang paling bagus menyerap gelombang mikro dibandingkan dengan PAni/HA/ $\text{TiO}_2$ /SWNT 60% yang memiliki konduktivitas  $7,15 \times 10^0$  S/cm (Phang, dkk., 2008).

Berdasarkan data yang diperoleh diketahui bahwa tidak terdapat hubungan linear antara penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap koefisien absorpsi. Dari data *Reflection Loss* pada setiap sampel dapat dilihat bahwa *Reflection Loss* yang besar tidak selalu menunjukkan koefisien absorpsi yang tinggi. Hal ini diprediksi terjadi karena gelombang mikro yang mengenai material tersebut tidak semuanya diserap namun ada yang ditransmisikan. Setiap gelombang elektromagnetik yang mengenai material akan dipantulkan, diserap atau ditransmisikan (Folgueras, dkk., 2007). Pada dasarnya, struktur material penyerap gelombang mikro terdiri dari bagian dengan sifat yang dapat mengizinkan gelombang elektromagnetik menembus daerah dimana medan listrik dan medan magnetik mengalami *loss* (Kakirde, dkk., 2008).

Secara umum dilihat dari nilai koefisien absorpsi dari kelima sampel pada penelitian ini cocok digunakan sebagai material absorpsi gelombang mikro, tetapi

material yang paling baik digunakan adalah sampel B. Sampel B memiliki *Reflection Loss* dan koefisien absorpsi yang tinggi. Perbandingan dengan peneliti sebelumnya bahwa material nanokomposit PAni/HA/TiO<sub>2</sub>/SWNT yang digunakan sebagai penyerap gelombang mikro memiliki nilai koefisien absorpsi maksimum pada penambahan SWNT 20% sebesar 99,2% pada frekuensi 6 GHz (Phang, dkk., 2008).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Suseptibilitas PANi bernilai negatif setelah ditambahkan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa material yang terkandung pada sampel merupakan material ferromagnetik.
2. *Reflection Loss* maksimum terjadi pada sampel B yaitu -53,7 dB pada frekuensi 8,74 GHz dengan nilai koefisien absorpsi sebesar 98,9%. Sedangkan nilai konduktivitas dan suseptibilitasnya adalah  $0,99 \times 10^{-3}$  S/cm dan  $19,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ .
3. Berdasarkan nilai *Reflection Loss* antara -1,73 dB – (-5,37 dB) dan koefisien absorpsi antara 24,7% – 98,9%, PANi dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat diaplikasikan sebagai material anti RADAR. Namun, pengaplikasiannya tergantung pada frekuensi antara 1000 MHz ( $1 \times 10^9$  Hz) sampai 10 GHz ( $1 \times 10^{10}$  Hz) dalam rentang frekuensi gelombang mikro, karena nilai absorpsi maksimum yang didapatkan pada rentang frekuensi 5,01 GHz sampai 10 GHz berbeda untuk setiap sampel.



## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disarankan agar:

1. Karakterisasi sifat magnet sebaiknya juga dilakukan dengan menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*).
2. Nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebaiknya ditambahkan dengan *filler* dielektik agar material tersebut tidak hanya berfungsi sebagai penyerap magnetik, tetapi juga berfungsi sebagai penyerap dielektrik terhadap gelombang mikro.
3. Material penyerap gelombang mikro dapat dibuat dengan memvariasikan ketebalan pada komposisi PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> karena koefisien absorpsi juga dipengaruhi oleh ketebalan sampel.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abdullah, M., Khairrurijal, Bijaksana, S., Masturi, Rahmawati, Aji, P., M., 2010, Listrik, Struktur, dan Sifat Magnetik dari Polimer Elektrolit (PVA:LiOH) Mengandung Sebaran Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , ITB, Bandung.
- Alam, Javed, 2007, Effect of Ferrofluid Concentration on Elektrical and Magnetic Properties of the PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanocomposites, *Journal of Magnetism and Maagnetic Material*, vol 314.
- Asrori, Z., M., Permana, A., Sukma, D., Darminto, 2000, Pengembangan Nanokomposit PANi (HCl)-  $\text{TiO}_2$  Sebagai Material Pelapis Anti Korosi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Darminto, Putri, P. N., 2009, Morfologi dan Sifat Listrik Film Nanokomposit PANi/HCl/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Das,Chapal Kumar.,Mandal,Avinandan., 2012, Microwave Absorbing Properties of DBSA-doped Polyaniline/ $\text{BaTiO}_3\text{-Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Nanocomposites, *Journal of Materials Science Research* Vol. 1, No. 1, January 2012.
- Elsayed, A. H., Mohy Eldin. M. S., Elazm, Abo., Younes. E.M. dan Motaweh. H. A.,2011,Synthesis and Properties of Polyaniline/ferrites Nanocomposites. *Int. J. Electrochem Sciences*, 6 (2011) 206 – 221.
- Feng Y.B., Qiu T., Shen C.Y., 2007, Absorbing Properties and Structural Design of Microwave Absorbers Based on Carbonyl Iron and Barium Ferrite, *Journal of Magnetism and Magnetic Material*, 318 (2007) 8-13.
- Folgueras, L.C, Noharab, E.L., Faez, R., Rezended, M.C., 2007, Dielectric Microwave Absorbing Material Processed by Impregnation of Carbon Fiber Fabric with Polyaniline, *Materials Research*, Vol. 10, No. 1, 95-99.
- Hasanah, P.A, 2012, Sintesis Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan Optimasi Waktu Pemanasan pada Temperatur Rendah, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
- Hunt, C.P., B. Moskowitz, S.K. Banerjee, 1995, Magnetic Properties of Rock and Minerals. In T.J Ahrens, ed, *Rock Physics and Phase Relation*, A.
- Indah, P.D., Salindia, P.E., Utami, N., 2010, Upaya Pembuatan Bahan Elastis Transparan Konduktif Berbasis Bahan Polianilin (PANi)/Fe. *Usulan PKM-GT*, Program Studi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang.

- Kakirde, A., Sinha, B., Sinha, S., N., 2008, Development and characterization of nikel-zine spinel ferrite for microwave absorption at 2.4 GHz, Departement of electronics and Computer engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee 247 667, India, 767-770.
- Lemire, C. dkk, 2004, The surface structure of  $\text{Fe}_3\text{O}_4(111)$  films as studied by CO adsorption. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Volume 572, Issue 1, hal 103-114.
- Lima, U.R. dkk, 2008, Sintesis nanokomposit resin/Ni-Zn ferit sebagai material penyerap gelombang mikro, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ludwig, Reinhold, Bretchko, P., 2000, *F Circuit Design Theory and Application*, Prentice-Hall.
- Mahardika, P.A, 2008, Kajian Sifat Megnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Hasil Penumbuhan dengan Metode Presipitasi Berbahan Dasar Pasir Besi, *Tesis*, Program Magister Fisika Institut Teknologi, Bandung.
- Mustafa, M.F, 2007, A Study and Development on Microwave Absorber Using Agriculture Waste Material, *Thesis*, Fakulti Kejuruteraan Elektronik &Kejuruteraan Komputer, Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
- Nowosielski, R., 2007, Magnetik Lunak Logam Polimer Komposit Terdiri dari Nanostruktur Utama Serbuk Besi. Institut Teknik Material dan Biomaterial, Polandia.
- Phang, S.W., Tadakoro, M., Watanabe, J. dan Kuramoto, N., 2008, Synthesis, Characterization and Microwave Absorption Property of Doped Polyaniline Nanocomposites Containing  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles and Carbon Nanotubes, *Syntetic Metals*, No.158, hal.251-258.
- Prastiwi, H., 2012, Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Sifat Listrik Dan Sifat Optik Polianilin (PANi), *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
- Putri, P.N., 2009, Morfologi dan Sifat Listrik Film Nanokomposit PANi/HCl/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rinata, A., Widyastuti, Purwaningsih, H., 2011, Pengaruh Presentasi Berat Barium Heksaferrit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dan Ketebalan Lapisan terhadap Reflection Loss pada Komposit Radar Absorbent Material (RAM).



Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Rohde, Schwarz. 2007. *Network Analyzer*.

Sitorus, B., Suendo, V. dan Hidayat, F., 2011, Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Penyimpan Perangkat Energi Listrik, *ELKHA*, Vol.3, No.1.

Shi, M.G., 2009, An Electrically Engineered Meta-Material Absorber, *Submitted in Partial Fulfillment of Graduation with Distinction Requirements*.

Shirakawa, H., 2001, *Nobel Lecture: The Discovery of Polyacetylene film-the Dawning of an era of Conducting Polymers*. University of Tsukuba, Japan.

Sholihah, K.L., 2010, Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang Berasal dari Pasir Besi dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Bahan Komersial (Aldrich). Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Syafriani, L., Yuliah, Y., Aryati, T., 2003, Pengaruh Doping Asam Protonik Terhadap Konduktivitas dan Transparansi Polianilin, *Laporan Akhir Penelitian*, Universitas Padjadjaran, Bandung.

Sudati, W., A., Zainuri, M., 2010, Sintesis dan karakterisasi komposit isotropik resin epoksi-polianilin/barium M-heksaferit  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{CO}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$  sebagai material antiradar. Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Taylor, M., 2005, *Developments in Microwave Chemistry*. Evalueserve, All Right Reserved.

Yuniarti, K., 2008, Kajian Pengaruh Penggunaan Gelombang Mikro (*Microwave*) Terhadap Sifat Fisik Mekanik dan Pengolahan Primer Kayu (Pengeringan dan Pengawetan), *Seminar Nasional MAPEKI VII di Universitas Tanjung Putra*: Kalimantan Barat.

Yunus, Asyari, D., 2010, *Struktur dan Sifat Material*. Universitas Darma Persada, Bandung.



## **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## Lampiran 1

### Hasil Karakterisasi *Susceptibility* meter

- PANi

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	-1
2	-1
3	-1
4	-1
5	-1
Rata-rata	-1

- Sampel A

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	18
2	14
3	20
4	25
5	19
Rata-rata	19.2

- Sampel B

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	53
2	55
3	54
4	55
5	56
Rata-rata	54,6

- Sampel C

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	140
2	137
3	142
4	142
5	142
Rata-rata	140,6

- Sampel D

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	267
2	272
3	266
4	271
5	273
Rata-rata	269,8

- Sampel E

Pengukuran Ke	Suseptibilitas magnet sampel ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
1	403
2	409
3	396
4	404
5	403
Rata-rata	403

**Lampiran 2**

**Nilai  $S_{11}$  dan  $S_{21}$**

Tabel Nilai  $S_{11}$

No.	Frekuensi (Hz)	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D	Sampel E
1	5,01E+09	-6,88E-01	-6,70E-01	-6,47E-01	-6,45E-01	-6,53E-01
2	5,05E+09	-7,36E-01	-6,80E-01	-7,04E-01	-6,85E-01	-7,15E-01
3	5,10E+09	-7,32E-01	-6,45E-01	-7,09E-01	-6,64E-01	-7,23E-01
4	5,14E+09	-6,90E-01	-5,81E-01	-6,82E-01	-5,96E-01	-6,86E-01
5	5,19E+09	-5,85E-01	-4,69E-01	-5,88E-01	-4,61E-01	-5,85E-01
6	5,23E+09	-4,18E-01	-3,17E-01	-4,31E-01	-2,75E-01	-4,16E-01
7	5,28E+09	-2,12E-01	-1,37E-01	-2,31E-01	-5,84E-02	-2,06E-01
8	5,32E+09	1,31E-02	5,40E-02	-1,07E-02	1,46E-01	1,08E-02
9	5,37E+09	2,42E-01	2,45E-01	2,14E-01	3,32E-01	2,23E-01
10	5,41E+09	4,29E-01	4,02E-01	4,00E-01	4,60E-01	3,82E-01
11	5,46E+09	6,06E-01	5,55E-01	5,74E-01	5,67E-01	5,27E-01
12	5,50E+09	7,50E-01	6,87E-01	7,16E-01	6,36E-01	6,38E-01
13	5,55E+09	8,15E-01	7,56E-01	7,83E-01	6,46E-01	6,95E-01
14	5,59E+09	8,19E-01	7,72E-01	7,84E-01	6,17E-01	7,04E-01
15	5,64E+09	7,60E-01	7,33E-01	7,24E-01	5,57E-01	6,70E-01
16	5,68E+09	6,71E-01	6,58E-01	6,33E-01	4,89E-01	6,19E-01
17	5,73E+09	5,07E-01	5,17E-01	4,69E-01	3,87E-01	5,13E-01
18	5,77E+09	3,32E-01	3,49E-01	2,96E-01	2,78E-01	3,81E-01
19	5,82E+09	1,19E-01	1,47E-01	9,64E-02	1,47E-01	2,24E-01
20	5,86E+09	-4,53E-02	-3,03E-02	-5,43E-02	1,95E-02	7,52E-02
21	5,91E+09	-1,47E-01	-1,58E-01	-1,36E-01	-6,98E-02	-3,71E-02
22	5,95E+09	-2,15E-01	-2,57E-01	-1,81E-01	-1,52E-01	-1,28E-01
23	6,00E+09	-3,06E-01	-3,54E-01	-2,44E-01	-2,37E-01	-2,25E-01
24	6,04E+09	-3,63E-01	-4,14E-01	-2,81E-01	-2,92E-01	-2,93E-01
25	6,09E+09	-4,29E-01	-4,59E-01	-3,32E-01	-3,42E-01	-3,64E-01
26	6,13E+09	-4,55E-01	-4,71E-01	-3,57E-01	-3,61E-01	-4,07E-01
27	6,18E+09	-4,90E-01	-4,81E-01	-3,96E-01	-3,75E-01	-4,47E-01
28	6,22E+09	-4,89E-01	-4,73E-01	-4,14E-01	-3,77E-01	-4,56E-01
29	6,27E+09	-4,48E-01	-4,20E-01	-3,94E-01	-3,43E-01	-4,16E-01
30	6,31E+09	-3,72E-01	-3,42E-01	-3,40E-01	-2,92E-01	-3,49E-01
31	6,36E+09	-2,66E-01	-2,38E-01	-2,67E-01	-2,30E-01	-2,62E-01
32	6,40E+09	-1,20E-01	-1,03E-01	-1,56E-01	-1,56E-01	-1,57E-01
33	6,45E+09	6,37E-02	7,39E-02	-2,13E-03	-4,30E-02	-1,12E-02
34	6,49E+09	2,59E-01	2,63E-01	1,73E-01	8,06E-02	1,52E-01



35	6,54E+09	4,42E-01	4,42E-01	3,44E-01	2,02E-01	3,08E-01
36	6,58E+09	5,53E-01	5,47E-01	4,52E-01	2,77E-01	4,14E-01
37	6,63E+09	6,44E-01	6,36E-01	5,39E-01	3,46E-01	4,98E-01
38	6,67E+09	7,38E-01	7,26E-01	6,40E-01	4,40E-01	6,11E-01
39	6,72E+09	8,02E-01	7,88E-01	7,23E-01	5,35E-01	7,03E-01
40	6,76E+09	7,88E-01	7,72E-01	7,30E-01	5,78E-01	7,25E-01
41	6,81E+09	7,18E-01	7,03E-01	6,81E-01	5,70E-01	6,92E-01
42	6,85E+09	6,24E-01	6,11E-01	6,14E-01	5,53E-01	6,37E-01
43	6,90E+09	4,92E-01	4,80E-01	5,11E-01	5,15E-01	5,45E-01
44	6,94E+09	3,46E-01	3,31E-01	3,86E-01	4,45E-01	4,25E-01
45	6,99E+09	1,81E-01	1,62E-01	2,39E-01	3,36E-01	2,77E-01
46	7,03E+09	5,11E-03	-9,73E-03	8,06E-02	2,10E-01	1,12E-01
47	7,08E+09	-1,77E-01	-1,90E-01	-8,95E-02	6,90E-02	-6,11E-02
48	7,12E+09	-3,08E-01	-3,18E-01	-2,16E-01	-6,28E-02	-2,03E-01
49	7,17E+09	-4,10E-01	-4,21E-01	-3,17E-01	-1,68E-01	-3,12E-01
50	7,21E+09	-5,28E-01	-5,37E-01	-4,37E-01	-3,05E-01	-4,45E-01
51	7,26E+09	-5,97E-01	-6,00E-01	-5,20E-01	-4,06E-01	-5,34E-01
52	7,30E+09	-5,95E-01	-5,96E-01	-5,43E-01	-4,39E-01	-5,51E-01
53	7,35E+09	-5,53E-01	-5,47E-01	-5,24E-01	-4,18E-01	-5,16E-01
54	7,39E+09	-4,92E-01	-4,88E-01	-4,91E-01	-3,98E-01	-4,71E-01
55	7,44E+09	-4,04E-01	-4,00E-01	-4,27E-01	-3,48E-01	-3,90E-01
56	7,48E+09	-3,14E-01	-3,13E-01	-3,50E-01	-3,07E-01	-3,19E-01
57	7,53E+09	-1,94E-01	-1,92E-01	-2,38E-01	-2,54E-01	-2,31E-01
58	7,57E+09	-2,95E-02	-2,71E-02	-8,82E-02	-1,70E-01	-1,14E-01
59	7,62E+09	1,41E-01	1,47E-01	7,32E-02	-6,68E-02	1,58E-02
60	7,66E+09	2,78E-01	2,90E-01	2,07E-01	3,71E-02	1,34E-01
61	7,71E+09	4,20E-01	4,30E-01	3,45E-01	1,69E-01	2,70E-01
62	7,75E+09	5,52E-01	5,70E-01	4,81E-01	3,09E-01	4,08E-01
63	7,80E+09	6,41E-01	6,59E-01	5,77E-01	4,23E-01	5,15E-01
64	7,84E+09	6,71E-01	6,93E-01	6,19E-01	4,93E-01	5,70E-01
65	7,89E+09	6,81E-01	7,00E-01	6,38E-01	5,51E-01	6,12E-01
66	7,93E+09	6,64E-01	6,82E-01	6,47E-01	6,23E-01	6,49E-01
67	7,98E+09	6,09E-01	6,21E-01	6,08E-01	6,31E-01	6,34E-01
68	8,02E+09	5,26E-01	5,25E-01	5,34E-01	5,88E-01	5,71E-01
69	8,07E+09	4,08E-01	4,10E-01	4,28E-01	5,13E-01	4,74E-01
70	8,11E+09	2,79E-01	2,74E-01	3,09E-01	4,29E-01	3,64E-01
71	8,16E+09	1,65E-01	1,47E-01	1,97E-01	3,40E-01	2,58E-01
72	8,20E+09	2,06E-02	4,96E-03	6,76E-02	2,27E-01	1,34E-01
73	8,25E+09	-1,47E-01	-1,67E-01	-9,37E-02	7,34E-02	-2,54E-02

74	8,29E+09	-3,17E-01	-3,40E-01	-2,53E-01	-9,78E-02	-1,99E-01
75	8,34E+09	-4,33E-01	-4,58E-01	-3,68E-01	-2,32E-01	-3,26E-01
76	8,38E+09	-4,99E-01	-5,25E-01	-4,24E-01	-3,19E-01	-4,01E-01
77	8,43E+09	-5,78E-01	-6,00E-01	-5,07E-01	-4,27E-01	-4,98E-01
78	8,47E+09	-6,45E-01	-6,55E-01	-5,83E-01	-5,43E-01	-5,93E-01
79	8,52E+09	-6,45E-01	-6,53E-01	-5,98E-01	-5,99E-01	-6,23E-01
80	8,56E+09	-5,85E-01	-5,91E-01	-5,53E-01	-5,97E-01	-5,97E-01
81	8,61E+09	-4,63E-01	-4,59E-01	-4,65E-01	-5,53E-01	-5,22E-01
82	8,65E+09	-3,22E-01	-3,12E-01	-3,49E-01	-4,74E-01	-4,15E-01
83	8,70E+09	-1,82E-01	-1,63E-01	-2,30E-01	-3,75E-01	-2,93E-01
84	8,74E+09	-2,40E-02	-2,07E-03	-8,87E-02	-2,48E-01	-1,55E-01
85	8,79E+09	1,84E-01	2,09E-01	1,02E-01	-5,77E-02	4,56E-02
86	8,83E+09	3,88E-01	4,23E-01	3,10E-01	1,61E-01	2,59E-01
87	8,88E+09	5,15E-01	5,40E-01	4,34E-01	3,15E-01	4,04E-01
88	8,92E+09	5,97E-01	6,24E-01	5,20E-01	4,23E-01	4,98E-01
89	8,97E+09	6,55E-01	6,87E-01	5,97E-01	5,40E-01	5,97E-01
90	9,01E+09	6,58E-01	7,28E-01	6,38E-01	6,68E-01	6,84E-01
91	9,06E+09	4,97E-01	6,97E-01	5,55E-01	7,27E-01	6,86E-01
92	9,10E+09	7,19E-01	7,30E-01	6,93E-01	7,22E-01	7,44E-01
93	9,15E+09	6,24E-01	5,83E-01	6,24E-01	6,61E-01	6,49E-01
94	9,19E+09	4,49E-01	4,00E-01	4,70E-01	5,23E-01	4,87E-01
95	9,24E+09	2,76E-01	2,08E-01	3,04E-01	3,77E-01	3,22E-01
96	9,28E+09	7,25E-02	-4,60E-03	1,10E-01	1,85E-01	1,19E-01
97	9,33E+09	-1,35E-01	-2,15E-01	-9,50E-02	-9,59E-03	-8,03E-02
98	9,37E+09	-3,28E-01	-4,07E-01	-2,98E-01	-1,99E-01	-2,73E-01
99	9,42E+09	-4,85E-01	-5,53E-01	-4,45E-01	-3,70E-01	-4,28E-01
100	9,46E+09	-5,86E-01	-6,39E-01	-5,54E-01	-4,76E-01	-5,33E-01
101	9,51E+09	-6,24E-01	-6,62E-01	-6,05E-01	-5,44E-01	-5,86E-01
102	9,55E+09	-6,09E-01	-6,23E-01	-5,86E-01	-5,43E-01	-5,70E-01
103	9,60E+09	-5,01E-01	-5,04E-01	-4,84E-01	-4,67E-01	-4,71E-01
104	9,64E+09	-3,23E-01	-3,10E-01	-2,99E-01	-3,18E-01	-2,98E-01
105	9,69E+09	-1,47E-01	-1,15E-01	-1,17E-01	-1,88E-01	-1,39E-01
106	9,73E+09	2,47E-02	8,34E-02	5,01E-02	-6,24E-02	5,35E-03
107	9,78E+09	1,78E-01	2,57E-01	1,92E-01	4,61E-02	1,19E-01
108	9,82E+09	3,51E-01	4,26E-01	3,23E-01	1,82E-01	2,60E-01
109	9,87E+09	5,17E-01	5,77E-01	4,42E-01	3,28E-01	4,08E-01
110	9,91E+09	6,01E-01	6,58E-01	5,20E-01	4,58E-01	5,24E-01
111	9,96E+09	4,65E-01	5,41E-01	4,91E-01	4,95E-01	5,11E-01
112	1,00E+10	-9,52E-02	4,21E-02	1,24E-01	1,42E-01	1,14E-01



Tabel nilai  $S_{12}$ 

No.	Frekuensi (GHz)	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D	Sampel E
1	5,01E+09	-1,47E-01	-1,57E-01	-1,63E-01	-2,21E-01	-1,99E-01
2	5,05E+09	-1,94E-01	-1,97E-01	-2,18E-01	-2,88E-01	-2,68E-01
3	5,10E+09	-2,08E-01	-1,97E-01	-2,36E-01	-3,05E-01	-2,91E-01
4	5,14E+09	-2,35E-01	-2,06E-01	-2,66E-01	-3,35E-01	-3,26E-01
5	5,19E+09	-2,66E-01	-2,13E-01	-3,04E-01	-3,60E-01	-3,62E-01
6	5,23E+09	-2,65E-01	-1,98E-01	-3,05E-01	-3,40E-01	-3,50E-01
7	5,28E+09	-2,66E-01	-1,91E-01	-3,07E-01	-3,16E-01	-3,34E-01
8	5,32E+09	-2,59E-01	-1,83E-01	-3,03E-01	-2,80E-01	-3,04E-01
9	5,37E+09	-2,28E-01	-1,62E-01	-2,66E-01	-2,17E-01	-2,38E-01
10	5,41E+09	-1,93E-01	-1,43E-01	-2,31E-01	-1,57E-01	-1,72E-01
11	5,46E+09	-1,27E-01	-9,91E-02	-1,56E-01	-6,15E-02	-7,82E-02
12	5,50E+09	-6,64E-02	-5,99E-02	-8,86E-02	1,63E-02	1,84E-03
13	5,55E+09	3,25E-02	8,35E-03	1,81E-02	1,15E-01	1,03E-01
14	5,59E+09	1,25E-01	7,59E-02	1,25E-01	2,04E-01	1,93E-01
15	5,64E+09	2,22E-01	1,48E-01	2,32E-01	2,75E-01	2,68E-01
16	5,68E+09	3,30E-01	2,37E-01	3,53E-01	3,50E-01	3,55E-01
17	5,73E+09	4,20E-01	3,13E-01	4,52E-01	3,94E-01	4,12E-01
18	5,77E+09	5,05E-01	3,92E-01	5,45E-01	4,38E-01	4,70E-01
19	5,82E+09	5,49E-01	4,40E-01	5,95E-01	4,59E-01	4,99E-01
20	5,86E+09	5,54E-01	4,59E-01	6,01E-01	4,68E-01	5,05E-01
21	5,91E+09	4,97E-01	4,28E-01	5,46E-01	4,46E-01	4,72E-01
22	5,95E+09	3,90E-01	3,68E-01	4,42E-01	4,02E-01	4,09E-01
23	6,00E+09	2,70E-01	2,94E-01	3,16E-01	3,34E-01	3,16E-01
24	6,04E+09	1,16E-01	1,88E-01	1,58E-01	2,25E-01	1,89E-01
25	6,09E+09	1,26E-02	1,04E-01	3,93E-02	1,34E-01	8,83E-02
26	6,13E+09	-1,41E-01	-2,90E-02	-1,21E-01	2,41E-03	-4,00E-02
27	6,18E+09	-2,39E-01	-1,42E-01	-2,32E-01	-1,27E-01	-1,48E-01
28	6,22E+09	-3,17E-01	-2,30E-01	-3,23E-01	-2,27E-01	-2,31E-01
29	6,27E+09	-3,89E-01	-3,27E-01	-4,05E-01	-3,40E-01	-3,23E-01
30	6,31E+09	-4,22E-01	-3,77E-01	-4,45E-01	-4,01E-01	-3,78E-01
31	6,36E+09	-4,57E-01	-4,36E-01	-4,86E-01	-4,72E-01	-4,48E-01
32	6,40E+09	-4,34E-01	-4,32E-01	-4,72E-01	-4,73E-01	-4,63E-01
33	6,45E+09	-4,38E-01	-4,44E-01	-4,76E-01	-4,85E-01	-4,89E-01
34	6,49E+09	-4,00E-01	-4,20E-01	-4,43E-01	-4,77E-01	-4,93E-01

35	6,54E+09	-3,27E-01	-3,52E-01	-3,69E-01	-4,17E-01	-4,41E-01
36	6,58E+09	-2,87E-01	-3,12E-01	-3,27E-01	-3,84E-01	-4,08E-01
37	6,63E+09	-2,14E-01	-2,40E-01	-2,48E-01	-3,22E-01	-3,40E-01
38	6,67E+09	-1,63E-01	-1,86E-01	-1,87E-01	-2,68E-01	-2,78E-01
39	6,72E+09	-9,49E-02	-1,16E-01	-1,13E-01	-2,07E-01	-2,01E-01
40	6,76E+09	-1,77E-02	-3,69E-02	-2,70E-02	-1,19E-01	-1,03E-01
41	6,81E+09	3,50E-02	1,93E-02	3,37E-02	-5,41E-02	-2,83E-02
42	6,85E+09	1,06E-01	9,10E-02	1,11E-01	2,30E-02	6,15E-02
43	6,90E+09	1,82E-01	1,68E-01	1,91E-01	1,18E-01	1,63E-01
44	6,94E+09	2,49E-01	2,37E-01	2,64E-01	2,08E-01	2,51E-01
45	6,99E+09	3,02E-01	2,93E-01	3,14E-01	2,92E-01	3,25E-01
46	7,03E+09	3,40E-01	3,33E-01	3,56E-01	3,47E-01	3,75E-01
47	7,08E+09	4,22E-01	4,17E-01	4,23E-01	4,59E-01	4,70E-01
48	7,12E+09	4,25E-01	4,24E-01	4,23E-01	5,02E-01	4,95E-01
49	7,17E+09	4,40E-01	4,42E-01	4,34E-01	5,29E-01	5,13E-01
50	7,21E+09	4,82E-01	4,84E-01	4,54E-01	6,03E-01	5,69E-01
51	7,26E+09	4,37E-01	4,39E-01	4,14E-01	5,83E-01	5,44E-01
52	7,30E+09	3,90E-01	3,94E-01	3,75E-01	5,54E-01	5,16E-01
53	7,35E+09	3,06E-01	3,03E-01	3,08E-01	4,59E-01	4,27E-01
54	7,39E+09	2,48E-01	2,44E-01	2,53E-01	4,00E-01	3,68E-01
55	7,44E+09	9,59E-02	9,33E-02	1,37E-01	2,32E-01	2,10E-01
56	7,48E+09	-2,24E-02	-2,59E-02	2,94E-02	7,02E-02	5,35E-02
57	7,53E+09	-1,14E-01	-1,13E-01	-5,91E-02	-5,66E-02	-7,33E-02
58	7,57E+09	-2,40E-01	-2,34E-01	-1,73E-01	-2,03E-01	-2,29E-01
59	7,62E+09	-3,52E-01	-3,39E-01	-2,80E-01	-3,42E-01	-3,72E-01
60	7,66E+09	-4,24E-01	-4,11E-01	-3,60E-01	-4,60E-01	-4,78E-01
61	7,71E+09	-4,64E-01	-4,45E-01	-4,04E-01	-5,06E-01	-5,20E-01
62	7,75E+09	-5,45E-01	-5,32E-01	-4,82E-01	-6,23E-01	-6,15E-01
63	7,80E+09	-5,30E-01	-5,17E-01	-4,96E-01	-6,38E-01	-6,11E-01
64	7,84E+09	-5,35E-01	-5,22E-01	-5,10E-01	-6,53E-01	-6,11E-01
65	7,89E+09	-5,09E-01	-5,01E-01	-5,16E-01	-6,64E-01	-6,06E-01
66	7,93E+09	-4,04E-01	-3,98E-01	-4,48E-01	-5,68E-01	-5,07E-01
67	7,98E+09	-3,23E-01	-3,17E-01	-3,90E-01	-4,93E-01	-4,44E-01
68	8,02E+09	-1,80E-01	-1,82E-01	-2,81E-01	-3,32E-01	-2,98E-01
69	8,07E+09	-7,17E-02	-7,44E-02	-1,82E-01	-1,97E-01	-1,73E-01
70	8,11E+09	3,28E-02	3,48E-02	-7,50E-02	-5,17E-02	-4,12E-02
71	8,16E+09	1,40E-01	1,36E-01	2,93E-02	8,07E-02	7,86E-02
72	8,20E+09	2,39E-01	2,39E-01	1,42E-01	2,25E-01	2,13E-01
73	8,25E+09	2,89E-01	2,87E-01	2,24E-01	3,10E-01	2,97E-01



74	8,29E+09	3,33E-01	3,29E-01	2,83E-01	3,69E-01	3,59E-01
75	8,34E+09	3,97E-01	3,93E-01	3,73E-01	4,70E-01	4,58E-01
76	8,38E+09	3,65E-01	3,62E-01	3,69E-01	4,46E-01	4,38E-01
77	8,43E+09	3,87E-01	3,84E-01	4,07E-01	4,80E-01	4,73E-01
78	8,47E+09	3,49E-01	3,43E-01	3,85E-01	4,42E-01	4,34E-01
79	8,52E+09	3,51E-01	3,46E-01	3,94E-01	4,48E-01	4,39E-01
80	8,56E+09	3,02E-01	2,96E-01	3,67E-01	4,01E-01	3,88E-01
81	8,61E+09	2,30E-01	2,23E-01	2,90E-01	3,13E-01	3,03E-01
82	8,65E+09	2,61E-01	2,52E-01	3,20E-01	3,53E-01	3,33E-01
83	8,70E+09	1,54E-01	1,46E-01	2,27E-01	2,39E-01	2,21E-01
84	8,74E+09	1,12E-01	1,04E-01	1,65E-01	1,72E-01	1,56E-01
85	8,79E+09	9,43E-02	8,83E-02	1,55E-01	1,61E-01	1,35E-01
86	8,83E+09	1,60E-02	9,45E-03	6,86E-02	6,22E-02	4,42E-02
87	8,88E+09	-2,61E-02	-3,04E-02	2,19E-02	1,08E-02	-3,55E-03
88	8,92E+09	-9,74E-02	-1,03E-01	-5,39E-02	-7,16E-02	-8,78E-02
89	8,97E+09	-1,40E-01	-1,44E-01	-1,05E-01	-1,21E-01	-1,43E-01
90	9,01E+09	-2,18E-01	-2,22E-01	-1,75E-01	-1,93E-01	-2,27E-01
91	9,06E+09	-2,85E-01	-3,12E-01	-2,78E-01	-3,24E-01	-3,72E-01
92	9,10E+09	-1,98E-01	-2,03E-01	-2,06E-01	-2,77E-01	-2,29E-01
93	9,15E+09	-3,14E-01	-3,07E-01	-3,20E-01	-3,70E-01	-3,20E-01
94	9,19E+09	-3,56E-01	-3,46E-01	-3,84E-01	-4,35E-01	-3,96E-01
95	9,24E+09	-3,41E-01	-3,31E-01	-3,62E-01	-4,10E-01	-3,78E-01
96	9,28E+09	-4,30E-01	-4,18E-01	-4,58E-01	-5,16E-01	-4,76E-01
97	9,33E+09	-3,98E-01	-3,81E-01	-4,46E-01	-4,94E-01	-4,64E-01
98	9,37E+09	-3,79E-01	-3,55E-01	-4,17E-01	-4,62E-01	-4,28E-01
99	9,42E+09	-3,57E-01	-3,28E-01	-4,10E-01	-4,57E-01	-4,23E-01
100	9,46E+09	-2,58E-01	-2,26E-01	-3,18E-01	-3,44E-01	-3,18E-01
101	9,51E+09	-1,43E-01	-1,04E-01	-2,21E-01	-2,35E-01	-2,18E-01
102	9,55E+09	6,79E-02	1,06E-01	-1,72E-02	-5,24E-03	-7,77E-03
103	9,60E+09	1,98E-01	2,29E-01	1,31E-01	1,59E-01	1,59E-01
104	9,64E+09	3,70E-01	3,88E-01	2,89E-01	3,35E-01	3,16E-01
105	9,69E+09	4,83E-01	4,73E-01	4,52E-01	5,13E-01	4,94E-01
106	9,73E+09	5,27E-01	4,84E-01	5,12E-01	5,94E-01	5,64E-01
107	9,78E+09	5,35E-01	4,89E-01	5,49E-01	6,30E-01	5,90E-01
108	9,82E+09	4,78E-01	4,50E-01	5,42E-01	6,12E-01	5,66E-01
109	9,87E+09	3,49E-01	3,21E-01	4,51E-01	5,12E-01	4,64E-01
110	9,91E+09	2,15E-01	1,85E-01	3,28E-01	3,58E-01	3,20E-01
111	9,96E+09	4,63E-02	1,49E-02	1,74E-01	1,61E-01	1,36E-01
112	1,00E+10	-1,19E-01	-1,48E-01	-9,21E-02	-1,66E-01	-1,36E-01

### Lampiran 3

**Tabel nilai *Reflection Loss***

No,	Frekuensi (Hz)	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D	Sampel E
1	5,01E+09	-3,25E+00	-3,48E+00	-3,78E+00	-3,81E+00	-3,70E+00
2	5,05E+09	-2,66E+00	-3,35E+00	-3,05E+00	-3,29E+00	-2,91E+00
3	5,10E+09	-2,71E+00	-3,81E+00	-2,99E+00	-3,56E+00	-2,82E+00
4	5,14E+09	-3,22E+00	-4,72E+00	-3,32E+00	-4,50E+00	-3,27E+00
5	5,19E+09	-4,66E+00	-6,58E+00	-4,61E+00	-6,73E+00	-4,66E+00
6	5,23E+09	-7,58E+00	-9,98E+00	-7,31E+00	-1,12E+01	-7,62E+00
7	5,28E+09	-1,35E+01	-1,73E+01	-1,27E+01	-2,47E+01	-1,37E+01
8	5,32E+09	-3,77E+01	-2,54E+01	-3,94E+01	-1,67E+01	-3,93E+01
9	5,37E+09	-1,23E+01	-1,22E+01	-1,34E+01	-9,58E+00	-1,30E+01
10	5,41E+09	-7,35E+00	-7,92E+00	-7,96E+00	-6,74E+00	-8,36E+00
11	5,46E+09	-4,35E+00	-5,11E+00	-4,82E+00	-4,93E+00	-5,56E+00
12	5,50E+09	-2,50E+00	-3,26E+00	-2,90E+00	-3,93E+00	-3,90E+00
13	5,55E+09	-1,78E+00	-2,43E+00	-2,12E+00	-3,80E+00	-3,16E+00
14	5,59E+09	-1,73E+00	-2,25E+00	-2,11E+00	-4,19E+00	-3,05E+00
15	5,64E+09	-2,38E+00	-2,70E+00	-2,81E+00	-5,08E+00	-3,48E+00
16	5,68E+09	-3,47E+00	-3,64E+00	-3,97E+00	-6,21E+00	-4,17E+00
17	5,73E+09	-5,90E+00	-5,73E+00	-6,58E+00	-8,25E+00	-5,80E+00
18	5,77E+09	-9,58E+00	-9,14E+00	-1,06E+01	-1,11E+01	-8,38E+00
19	5,82E+09	-1,85E+01	-1,67E+01	-2,03E+01	-1,67E+01	-1,30E+01
20	5,86E+09	-2,69E+01	-3,04E+01	-2,53E+01	-3,42E+01	-2,25E+01
21	5,91E+09	-1,67E+01	-1,60E+01	-1,73E+01	-2,31E+01	-2,86E+01
22	5,95E+09	-1,34E+01	-1,18E+01	-1,48E+01	-1,64E+01	-1,79E+01
23	6,00E+09	-1,03E+01	-9,02E+00	-1,23E+01	-1,25E+01	-1,30E+01
24	6,04E+09	-8,80E+00	-7,66E+00	-1,10E+01	-1,07E+01	-1,07E+01
25	6,09E+09	-7,35E+00	-6,76E+00	-9,58E+00	-9,32E+00	-8,78E+00
26	6,13E+09	-6,84E+00	-6,54E+00	-8,95E+00	-8,85E+00	-7,81E+00
27	6,18E+09	-6,20E+00	-6,36E+00	-8,05E+00	-8,52E+00	-6,99E+00
28	6,22E+09	-6,21E+00	-6,50E+00	-7,66E+00	-8,47E+00	-6,82E+00
29	6,27E+09	-6,97E+00	-7,54E+00	-8,09E+00	-9,29E+00	-7,62E+00
30	6,31E+09	-8,59E+00	-9,32E+00	-9,37E+00	-1,07E+01	-9,14E+00
31	6,36E+09	-1,15E+01	-1,25E+01	-1,15E+01	-1,28E+01	-1,16E+01
32	6,40E+09	-1,84E+01	-1,97E+01	-1,61E+01	-1,61E+01	-1,61E+01
33	6,45E+09	-2,39E+01	-2,26E+01	-5,34E+01	-2,73E+01	-3,90E+01
34	6,49E+09	-1,17E+01	-1,16E+01	-1,52E+01	-2,19E+01	-1,64E+01



35	6,54E+09	-7,09E+00	-7,09E+00	-9,27E+00	-1,39E+01	-1,02E+01
36	6,58E+09	-5,15E+00	-5,24E+00	-6,90E+00	-1,12E+01	-7,66E+00
37	6,63E+09	-3,82E+00	-3,93E+00	-5,37E+00	-9,22E+00	-6,06E+00
38	6,67E+09	-2,64E+00	-2,78E+00	-3,88E+00	-7,13E+00	-4,28E+00
39	6,72E+09	-1,92E+00	-2,07E+00	-2,82E+00	-5,43E+00	-3,06E+00
40	6,76E+09	-2,07E+00	-2,25E+00	-2,73E+00	-4,76E+00	-2,79E+00
41	6,81E+09	-2,88E+00	-3,06E+00	-3,34E+00	-4,88E+00	-3,20E+00
42	6,85E+09	-4,10E+00	-4,28E+00	-4,24E+00	-5,15E+00	-3,92E+00
43	6,90E+09	-6,16E+00	-6,38E+00	-5,83E+00	-5,76E+00	-5,27E+00
44	6,94E+09	-9,22E+00	-9,60E+00	-8,27E+00	-7,03E+00	-7,43E+00
45	6,99E+09	-1,48E+01	-1,58E+01	-1,24E+01	-9,47E+00	-1,12E+01
46	7,03E+09	-4,58E+01	-4,02E+01	-2,19E+01	-1,36E+01	-1,90E+01
47	7,08E+09	-1,50E+01	-1,44E+01	-2,10E+01	-2,32E+01	-2,43E+01
48	7,12E+09	-1,02E+01	-9,95E+00	-1,33E+01	-2,40E+01	-1,39E+01
49	7,17E+09	-7,74E+00	-7,51E+00	-9,98E+00	-1,55E+01	-1,01E+01
50	7,21E+09	-5,55E+00	-5,40E+00	-7,19E+00	-1,03E+01	-7,03E+00
51	7,26E+09	-4,48E+00	-4,44E+00	-5,68E+00	-7,83E+00	-5,45E+00
52	7,30E+09	-4,51E+00	-4,50E+00	-5,30E+00	-7,15E+00	-5,18E+00
53	7,35E+09	-5,15E+00	-5,24E+00	-5,61E+00	-7,58E+00	-5,75E+00
54	7,39E+09	-6,16E+00	-6,23E+00	-6,18E+00	-8,00E+00	-6,54E+00
55	7,44E+09	-7,87E+00	-7,96E+00	-7,39E+00	-9,17E+00	-8,18E+00
56	7,48E+09	-1,01E+01	-1,01E+01	-9,12E+00	-1,03E+01	-9,92E+00
57	7,53E+09	-1,42E+01	-1,43E+01	-1,25E+01	-1,19E+01	-1,27E+01
58	7,57E+09	-3,06E+01	-3,13E+01	-2,11E+01	-1,54E+01	-1,89E+01
59	7,62E+09	-1,70E+01	-1,67E+01	-2,27E+01	-2,35E+01	-3,60E+01
60	7,66E+09	-1,11E+01	-1,08E+01	-1,37E+01	-2,86E+01	-1,75E+01
61	7,71E+09	-7,54E+00	-7,33E+00	-9,24E+00	-1,54E+01	-1,14E+01
62	7,75E+09	-5,16E+00	-4,88E+00	-6,36E+00	-1,02E+01	-7,79E+00
63	7,80E+09	-3,86E+00	-3,62E+00	-4,78E+00	-7,47E+00	-5,76E+00
64	7,84E+09	-3,47E+00	-3,19E+00	-4,17E+00	-6,14E+00	-4,88E+00
65	7,89E+09	-3,34E+00	-3,10E+00	-3,90E+00	-5,18E+00	-4,26E+00
66	7,93E+09	-3,56E+00	-3,32E+00	-3,78E+00	-4,11E+00	-3,76E+00
67	7,98E+09	-4,31E+00	-4,14E+00	-4,32E+00	-4,00E+00	-3,96E+00
68	8,02E+09	-5,58E+00	-5,60E+00	-5,45E+00	-4,61E+00	-4,87E+00
69	8,07E+09	-7,79E+00	-7,74E+00	-7,37E+00	-5,80E+00	-6,48E+00
70	8,11E+09	-1,11E+01	-1,12E+01	-1,02E+01	-7,35E+00	-8,78E+00
71	8,16E+09	-1,57E+01	-1,67E+01	-1,41E+01	-9,37E+00	-1,18E+01
72	8,20E+09	-3,37E+01	-4,61E+01	-2,34E+01	-1,29E+01	-1,75E+01
73	8,25E+09	-1,67E+01	-1,55E+01	-2,06E+01	-2,27E+01	-3,19E+01

74	8,29E+09	-9,98E+00	-9,37E+00	-1,19E+01	-2,02E+01	-1,40E+01
75	8,34E+09	-7,27E+00	-6,78E+00	-8,68E+00	-1,27E+01	-9,74E+00
76	8,38E+09	-6,04E+00	-5,60E+00	-7,45E+00	-9,92E+00	-7,94E+00
77	8,43E+09	-4,76E+00	-4,44E+00	-5,90E+00	-7,39E+00	-6,06E+00
78	8,47E+09	-3,81E+00	-3,68E+00	-4,69E+00	-5,30E+00	-4,54E+00
79	8,52E+09	-3,81E+00	-3,70E+00	-4,47E+00	-4,45E+00	-4,11E+00
80	8,56E+09	-4,66E+00	-4,57E+00	-5,15E+00	-4,48E+00	-4,48E+00
81	8,61E+09	-6,69E+00	-6,76E+00	-6,65E+00	-5,15E+00	-5,65E+00
82	8,65E+09	-9,84E+00	-1,01E+01	-9,14E+00	-6,48E+00	-7,64E+00
83	8,70E+09	-1,48E+01	-1,58E+01	-1,28E+01	-8,52E+00	-1,07E+01
84	8,74E+09	-3,24E+01	-5,37E+01	-2,10E+01	-1,21E+01	-1,62E+01
85	8,79E+09	-1,47E+01	-1,36E+01	-1,98E+01	-2,48E+01	-2,68E+01
86	8,83E+09	-8,22E+00	-7,47E+00	-1,02E+01	-1,59E+01	-1,17E+01
87	8,88E+09	-5,76E+00	-5,35E+00	-7,25E+00	-1,00E+01	-7,87E+00
88	8,92E+09	-4,48E+00	-4,10E+00	-5,68E+00	-7,47E+00	-6,06E+00
89	8,97E+09	-3,68E+00	-3,26E+00	-4,48E+00	-5,35E+00	-4,48E+00
90	9,01E+09	-3,64E+00	-2,76E+00	-3,90E+00	-3,50E+00	-3,30E+00
91	9,06E+09	-6,07E+00	-3,14E+00	-5,11E+00	-2,77E+00	-3,27E+00
92	9,10E+09	-2,87E+00	-2,73E+00	-3,19E+00	-2,83E+00	-2,57E+00
93	9,15E+09	-4,10E+00	-4,69E+00	-4,10E+00	-3,60E+00	-3,76E+00
94	9,19E+09	-6,96E+00	-7,96E+00	-6,56E+00	-5,63E+00	-6,25E+00
95	9,24E+09	-1,12E+01	-1,36E+01	-1,03E+01	-8,47E+00	-9,84E+00
96	9,28E+09	-2,28E+01	-4,67E+01	-1,92E+01	-1,47E+01	-1,85E+01
97	9,33E+09	-1,74E+01	-1,34E+01	-2,04E+01	-4,04E+01	-2,19E+01
98	9,37E+09	-9,68E+00	-7,81E+00	-1,05E+01	-1,40E+01	-1,13E+01
99	9,42E+09	-6,29E+00	-5,15E+00	-7,03E+00	-8,64E+00	-7,37E+00
100	9,46E+09	-4,64E+00	-3,89E+00	-5,13E+00	-6,45E+00	-5,47E+00
101	9,51E+09	-4,10E+00	-3,58E+00	-4,36E+00	-5,29E+00	-4,64E+00
102	9,55E+09	-4,31E+00	-4,11E+00	-4,64E+00	-5,30E+00	-4,88E+00
103	9,60E+09	-6,00E+00	-5,95E+00	-6,30E+00	-6,61E+00	-6,54E+00
104	9,64E+09	-9,82E+00	-1,02E+01	-1,05E+01	-9,95E+00	-1,05E+01
105	9,69E+09	-1,67E+01	-1,88E+01	-1,86E+01	-1,45E+01	-1,71E+01
106	9,73E+09	-3,21E+01	-2,16E+01	-2,60E+01	-2,41E+01	-4,54E+01
107	9,78E+09	-1,50E+01	-1,18E+01	-1,43E+01	-2,67E+01	-1,85E+01
108	9,82E+09	-9,09E+00	-7,41E+00	-9,82E+00	-1,48E+01	-1,17E+01
109	9,87E+09	-5,73E+00	-4,78E+00	-7,09E+00	-9,68E+00	-7,79E+00
110	9,91E+09	-4,42E+00	-3,64E+00	-5,68E+00	-6,78E+00	-5,61E+00
111	9,96E+09	-6,65E+00	-5,34E+00	-6,18E+00	-6,11E+00	-5,83E+00
112	1,00E+10	-2,04E+01	-2,75E+01	-1,81E+01	-1,70E+01	-1,89E+01



**Lampiran 4**

**Tabel nilai koefisien absorpsi**

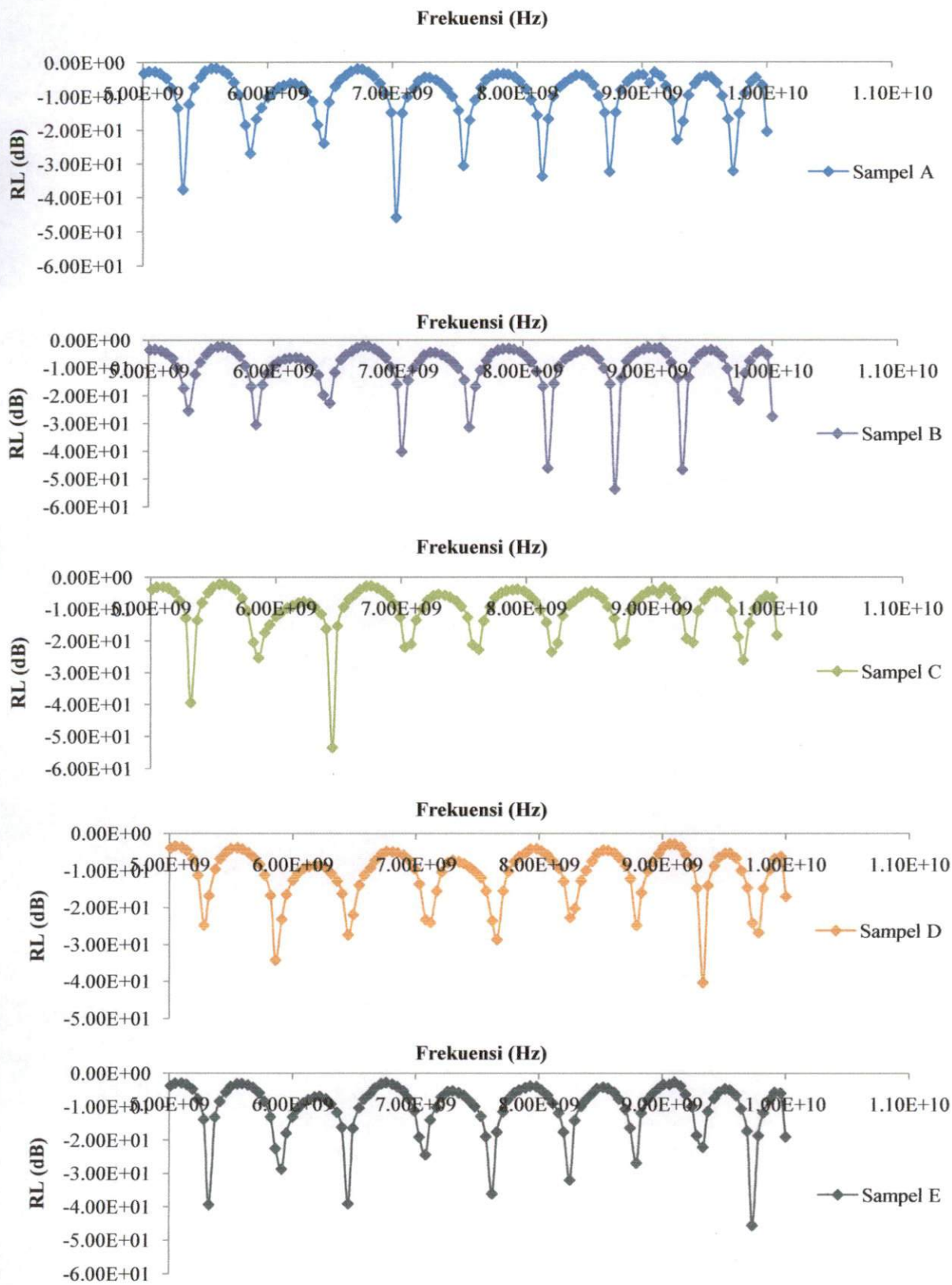
No,	Frekuensi (Hz)	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D	Sampel E
1	5,01E+09	5,06E+01	5,27E+01	5,55E+01	5,35E+01	5,34E+01
2	5,05E+09	4,20E+01	4,98E+01	4,57E+01	4,48E+01	4,18E+01
3	5,10E+09	4,21E+01	5,45E+01	4,41E+01	4,66E+01	3,92E+01
4	5,14E+09	4,68E+01	6,20E+01	4,64E+01	5,33E+01	4,24E+01
5	5,19E+09	5,87E+01	7,35E+01	5,62E+01	6,59E+01	5,27E+01
6	5,23E+09	7,55E+01	8,61E+01	7,22E+01	8,09E+01	7,05E+01
7	5,28E+09	8,84E+01	9,45E+01	8,52E+01	8,97E+01	8,46E+01
8	5,32E+09	9,33E+01	9,64E+01	9,08E+01	9,00E+01	9,08E+01
9	5,37E+09	8,89E+01	9,14E+01	8,84E+01	8,43E+01	8,94E+01
10	5,41E+09	7,79E+01	8,18E+01	7,87E+01	7,64E+01	8,24E+01
11	5,46E+09	6,17E+01	6,82E+01	6,47E+01	6,75E+01	7,16E+01
12	5,50E+09	4,34E+01	5,25E+01	4,79E+01	5,95E+01	5,93E+01
13	5,55E+09	3,35E+01	4,29E+01	3,87E+01	5,70E+01	5,06E+01
14	5,59E+09	3,13E+01	3,99E+01	3,69E+01	5,78E+01	4,67E+01
15	5,64E+09	3,74E+01	4,40E+01	4,23E+01	6,14E+01	4,79E+01
16	5,68E+09	4,41E+01	5,10E+01	4,74E+01	6,38E+01	4,90E+01
17	5,73E+09	5,67E+01	6,34E+01	5,76E+01	6,95E+01	5,67E+01
18	5,77E+09	6,35E+01	7,24E+01	6,15E+01	7,31E+01	6,34E+01
19	5,82E+09	6,85E+01	7,85E+01	6,37E+01	7,68E+01	7,01E+01
20	5,86E+09	6,91E+01	7,88E+01	6,36E+01	7,81E+01	7,40E+01
21	5,91E+09	7,32E+01	7,92E+01	6,84E+01	7,96E+01	7,76E+01
22	5,95E+09	8,02E+01	7,98E+01	7,72E+01	8,15E+01	8,17E+01
23	6,00E+09	8,34E+01	7,88E+01	8,40E+01	8,32E+01	8,50E+01
24	6,04E+09	8,55E+01	7,93E+01	8,96E+01	8,64E+01	8,79E+01
25	6,09E+09	8,16E+01	7,78E+01	8,89E+01	8,65E+01	8,60E+01
26	6,13E+09	7,73E+01	7,77E+01	8,58E+01	8,70E+01	8,33E+01
27	6,18E+09	7,03E+01	7,48E+01	7,89E+01	8,43E+01	7,79E+01
28	6,22E+09	6,61E+01	7,24E+01	7,24E+01	8,06E+01	7,38E+01
29	6,27E+09	6,47E+01	7,16E+01	6,81E+01	7,67E+01	7,22E+01
30	6,31E+09	6,83E+01	7,40E+01	6,86E+01	7,54E+01	7,35E+01
31	6,36E+09	7,20E+01	7,53E+01	6,93E+01	7,24E+01	7,31E+01
32	6,40E+09	7,97E+01	8,03E+01	7,53E+01	7,52E+01	7,61E+01
33	6,45E+09	8,04E+01	7,97E+01	7,74E+01	7,63E+01	7,61E+01
34	6,49E+09	7,73E+01	7,55E+01	7,74E+01	7,66E+01	7,34E+01

35	6,54E+09	6,97E+01	6,81E+01	7,46E+01	7,85E+01	7,11E+01
36	6,58E+09	6,11E+01	6,04E+01	6,89E+01	7,76E+01	6,63E+01
37	6,63E+09	5,39E+01	5,38E+01	6,48E+01	7,76E+01	6,36E+01
38	6,67E+09	4,28E+01	4,38E+01	5,56E+01	7,34E+01	5,49E+01
39	6,72E+09	3,48E+01	3,66E+01	4,65E+01	6,71E+01	4,66E+01
40	6,76E+09	3,79E+01	4,03E+01	4,67E+01	6,52E+01	4,64E+01
41	6,81E+09	4,84E+01	5,05E+01	5,35E+01	6,72E+01	5,21E+01
42	6,85E+09	5,99E+01	6,19E+01	6,10E+01	6,94E+01	5,91E+01
43	6,90E+09	7,25E+01	7,41E+01	7,02E+01	7,21E+01	6,76E+01
44	6,94E+09	8,19E+01	8,34E+01	7,81E+01	7,59E+01	7,57E+01
45	6,99E+09	8,76E+01	8,87E+01	8,44E+01	8,02E+01	8,18E+01
46	7,03E+09	8,84E+01	8,89E+01	8,67E+01	8,35E+01	8,46E+01
47	7,08E+09	7,91E+01	7,90E+01	8,13E+01	7,85E+01	7,76E+01
48	7,12E+09	7,25E+01	7,18E+01	7,75E+01	7,44E+01	7,14E+01
49	7,17E+09	6,39E+01	6,27E+01	7,11E+01	6,92E+01	6,39E+01
50	7,21E+09	4,89E+01	4,77E+01	6,03E+01	5,43E+01	4,78E+01
51	7,26E+09	4,53E+01	4,47E+01	5,58E+01	4,95E+01	4,19E+01
52	7,30E+09	4,93E+01	4,90E+01	5,65E+01	5,00E+01	4,30E+01
53	7,35E+09	6,01E+01	6,09E+01	6,31E+01	6,15E+01	5,52E+01
54	7,39E+09	6,96E+01	7,02E+01	6,95E+01	6,82E+01	6,43E+01
55	7,44E+09	8,27E+01	8,31E+01	7,99E+01	8,25E+01	8,04E+01
56	7,48E+09	9,01E+01	9,01E+01	8,77E+01	9,01E+01	8,96E+01
57	7,53E+09	9,49E+01	9,50E+01	9,40E+01	9,32E+01	9,41E+01
58	7,57E+09	9,42E+01	9,44E+01	9,62E+01	9,30E+01	9,34E+01
59	7,62E+09	8,56E+01	8,64E+01	9,16E+01	8,78E+01	8,61E+01
60	7,66E+09	7,43E+01	7,47E+01	8,27E+01	7,87E+01	7,54E+01
61	7,71E+09	6,09E+01	6,17E+01	7,18E+01	7,16E+01	6,57E+01
62	7,75E+09	3,99E+01	3,93E+01	5,36E+01	5,17E+01	4,56E+01
63	7,80E+09	3,09E+01	2,98E+01	4,21E+01	4,14E+01	3,62E+01
64	7,84E+09	2,64E+01	2,47E+01	3,57E+01	3,30E+01	3,02E+01
65	7,89E+09	2,78E+01	2,59E+01	3,27E+01	2,56E+01	2,59E+01
66	7,93E+09	3,95E+01	3,76E+01	3,80E+01	2,88E+01	3,22E+01
67	7,98E+09	5,25E+01	5,14E+01	4,79E+01	3,59E+01	4,01E+01
68	8,02E+09	6,91E+01	6,92E+01	6,36E+01	5,44E+01	5,85E+01
69	8,07E+09	8,29E+01	8,26E+01	7,84E+01	6,98E+01	7,45E+01
70	8,11E+09	9,21E+01	9,24E+01	8,99E+01	8,13E+01	8,66E+01
71	8,16E+09	9,53E+01	9,60E+01	9,60E+01	8,78E+01	9,27E+01
72	8,20E+09	9,42E+01	9,43E+01	9,75E+01	8,98E+01	9,37E+01
73	8,25E+09	8,95E+01	8,90E+01	9,41E+01	8,98E+01	9,11E+01



74	8,29E+09	7,88E+01	7,76E+01	8,56E+01	8,54E+01	8,32E+01
75	8,34E+09	6,55E+01	6,36E+01	7,26E+01	7,25E+01	6,84E+01
76	8,38E+09	6,18E+01	5,93E+01	6,83E+01	6,99E+01	6,47E+01
77	8,43E+09	5,16E+01	4,92E+01	5,77E+01	5,87E+01	5,28E+01
78	8,47E+09	4,62E+01	4,53E+01	5,11E+01	5,10E+01	4,59E+01
79	8,52E+09	4,60E+01	4,54E+01	4,87E+01	4,40E+01	4,19E+01
80	8,56E+09	5,67E+01	5,63E+01	5,60E+01	4,82E+01	4,93E+01
81	8,61E+09	7,33E+01	7,40E+01	7,00E+01	5,96E+01	6,36E+01
82	8,65E+09	8,28E+01	8,39E+01	7,76E+01	6,51E+01	7,17E+01
83	8,70E+09	9,43E+01	9,52E+01	8,95E+01	8,02E+01	8,65E+01
84	8,74E+09	9,87E+01	9,89E+01	9,65E+01	9,09E+01	9,52E+01
85	8,79E+09	9,57E+01	9,49E+01	9,65E+01	9,71E+01	9,80E+01
86	8,83E+09	8,49E+01	8,21E+01	8,99E+01	9,70E+01	9,31E+01
87	8,88E+09	7,34E+01	7,07E+01	8,11E+01	9,01E+01	8,37E+01
88	8,92E+09	6,34E+01	6,00E+01	7,26E+01	8,16E+01	7,44E+01
89	8,97E+09	5,51E+01	5,07E+01	6,32E+01	6,94E+01	6,23E+01
90	9,01E+09	5,19E+01	4,20E+01	5,62E+01	5,17E+01	4,81E+01
91	9,06E+09	6,71E+01	4,17E+01	6,15E+01	3,67E+01	3,91E+01
92	9,10E+09	4,43E+01	4,26E+01	4,77E+01	4,03E+01	3,95E+01
93	9,15E+09	5,13E+01	5,66E+01	5,08E+01	4,27E+01	4,77E+01
94	9,19E+09	6,71E+01	7,20E+01	6,32E+01	5,37E+01	6,07E+01
95	9,24E+09	8,08E+01	8,47E+01	7,77E+01	6,90E+01	7,53E+01
96	9,28E+09	8,10E+01	8,25E+01	7,78E+01	7,00E+01	7,59E+01
97	9,33E+09	8,23E+01	8,09E+01	7,92E+01	7,56E+01	7,78E+01
98	9,37E+09	7,49E+01	7,08E+01	7,38E+01	7,47E+01	7,42E+01
99	9,42E+09	6,38E+01	5,87E+01	6,34E+01	6,55E+01	6,37E+01
100	9,46E+09	5,90E+01	5,41E+01	5,92E+01	6,55E+01	6,15E+01
101	9,51E+09	5,91E+01	5,51E+01	5,85E+01	6,48E+01	6,09E+01
102	9,55E+09	6,25E+01	6,00E+01	6,56E+01	7,05E+01	6,74E+01
103	9,60E+09	7,10E+01	6,94E+01	7,49E+01	7,57E+01	7,53E+01
104	9,64E+09	7,58E+01	7,53E+01	8,27E+01	7,87E+01	8,11E+01
105	9,69E+09	7,45E+01	7,63E+01	7,82E+01	7,01E+01	7,36E+01
106	9,73E+09	7,21E+01	7,58E+01	7,35E+01	6,43E+01	6,81E+01
107	9,78E+09	6,83E+01	6,95E+01	6,62E+01	6,02E+01	6,38E+01
108	9,82E+09	6,49E+01	6,16E+01	6,02E+01	5,93E+01	6,12E+01
109	9,87E+09	6,11E+01	5,64E+01	6,01E+01	6,31E+01	6,18E+01
110	9,91E+09	5,92E+01	5,33E+01	6,23E+01	6,62E+01	6,23E+01
111	9,96E+09	7,81E+01	7,07E+01	7,29E+01	7,28E+01	7,20E+01
112	1,00E+10	9,77E+01	9,76E+01	9,76E+01	9,52E+01	9,69E+01

Lampiran 5  
Perbandingan nilai *Reflection Loss* (RL)





Lampiran 6  
Perbandingan nilai koefisien absorpsi

